

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

## Fakulta strojní

Studijní program B2341 - Strojírenství

Materiály a technologie

Zaměření strojírenská metalurgie

Katedra strojírenské technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

### ANALÝZA ČASOVÝCH PRŮBĚHŮ ELEKTRICKÝCH VELIČIN U BODOVÉHO ODPOROVÉHO SVAŘOVÁNÍ

### ANALYSIS OF TIME BEHAVIOUR OF ELECTRICAL PARAMETERS OF RESISTANCE SPOT WELDING

Zdeněk Vrabec

**KSP – SM – B31**

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.

#### **Rozsah práce a příloh:**

Počet stran	27
Počet tabulek	12
Počet příloh	20
Počet obrázků	21

**Datum:** 27. 5. 2011

**ANOTACE**  
**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta Strojní

Katedra strojírenské Technologie

Oddělení strojírenské metalurgie

Studijní program:	B2341 – Strojírenství
Student:	Zdeněk Vrabec
Téma práce:	Analýza časových průběhů elektrických veličin u bodového odporového svařování  Analysis of time behaviour of electrical parameters of resistance spot welding
Číslo BP:	KSP-SM-B31
Vedoucí BP	doc. Ing. Heinz Neumann, CSc.

**Abstrakt:**

Bakalářská práce analyzuje časové průběhy elektrických veličin u bodového odporového svařování a jejich souvislosti s kvalitou svaru při testu životnosti elektrod. Jako základní materiál je použit ocelový plech s povlakem Zinek-Nikl o tloušťce 3,7μm. Z naměřených hodnot jsou vytvořeny grafy průběhů sledovaných veličin a je provedeno vyhodnocení mechanických zkoušek. Teoretická část práce je věnována teoretickým základům odporového bodového svařování, především problematice elektrod a svařovacím parametrům. Dále se zabývá hodnocením kvality a zkouškami odporových bodových svarů.

**Abstract:**

The thesis analyze time periods of electric quantity of resistance spot welding and consequences on weld in test of electrode life. As material was used 3,7 μm wide, zinc-nickel plate. Graphs of courses of monitored quantity are made from measured values. There are also mechanics tests evaluations. Theoretical part of the thesis is about basis of resistance spot welding. Main part is devoted to problematic of electrodes and welding parameters. It is also about evaluations of quality and tests of resistance spot welds.

### **Místopřísežné prohlášení**

Místopřísežně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury.

V Liberci, 27. května 2011

.....

Zdeněk Vrabec

Rubínová 1921

511 01 Turnov

## OBSAH

1. Úvod .....	7
2. Odporové svařování .....	8
2.1 Bodové svařování .....	9
3. Základní svařovací parametry.....	10
3.1 Elektrické teplo .....	11
3.2 Celkový činný odpor.....	11
3.3 Měkký a tvrdý svařovací režim .....	12
4. Elektrody.....	13
4.1 Životnost elektrod.....	16
5. Kvalita svarů .....	17
6. Hodnocení kvality bodových svarů.....	18
6.1 Mechanické zkoušky.....	18
6.1.1 Smyková zkouška .....	19
6.1.2 Křížová zkouška .....	19
6.1.3 Zkouška krutem .....	20
6.2 Technologické zkoušky.....	20
6.2.1 Zkouška sekáčem.....	20
6.2.2 Odlupovací zkouška .....	21
6.3 Zkoušky metalografické.....	21
6.4 Nedestruktivní zkoušky.....	22
7. Experimentální část .....	23
7.1 Příprava vzorků pro mechanické zkoušky .....	25
7.2 Měření časových průběhů elektrických veličin .....	26
7.3 Mechanické zkoušení.....	28
7.4 Vyhodnocení experimentu .....	31
8. Závěr.....	32
9. Seznam použité literatury .....	33

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Název	Jednotky
Q	Teplo	[J]
R	Celkový činný odpor	[ $\Omega$ ]
I	Svařovací proud	[A]
dt	Diferenciál času	[-]
$\kappa$	Součinitel zmenšení odporu	[ $\text{m}^2\text{mm}^{-3}\Omega^{-1}$ ]
q	Měrný elektrický odpor	[ $\Omega\text{m}$ ]
h	Tloušťka svařovaných plechů	[mm]
d	Průměr dotykové plochy	[mm]
U	Svařovací napětí	[V]
T	Perioda	[1/50s]
t	Čas	[s]
F <sub>m</sub>	Maximální síla	[N]

## 1. ÚVOD

V dnešní době patří svařování do rozhodujících technologií v řadě průmyslových odvětví, jako je například strojírenství, stavebnictví, potravinářství, energetika i zemědělství. Využívá se jak při výrobě malých součástí v elektronice, tak i při výrobě velice rozměrných součástí. Tato technologie umožňuje spojovat většinu používaný kovů a plasty, i při vysokých nárocích na mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti.

Odporové svařování bylo objeveno v roce 1877, ale v této době nemohlo být využito, jelikož nebyly zdroje střídavého proudu velké intenzity ani přístroje pro ovládání tak vysokého proudu. Začalo se široce využívat až kolem roku 1925, kdy docházelo k velkému zdokonalování svařovacích zdrojů a jejich řízení [1].

Odporové svařování má také hygienické výhody, to znamená, že svářeč může pracovat bez masky a ani okolní pracovníci nejsou obtěžováni hlukem, škodlivým světlem a kouřem. Toto svařování je vhodné i pro kusovou výrobu, hlavně však pro sériovou a hromadnou výrobu. Nejvyšší produktivity práce lze dosáhnout mechanizací a automatizací. Nevýhodou tohoto svařování je to, že se může používat pouze tam, kde jsou pro to přijatelné podmínky.

## 2. ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ

V souladu s normou ČSN EN ISO 17677 – 1 [9] je odporové svařování definováno jako tlakové svařování, při kterém se nezbytné teplo ke svařování vytváří elektrickým odporem při průchodu elektrického proudu v oblasti svařování [9].

Při této technologii se svar vytváří pomocí tepla a tlaku. Teplo vzniká procházejícím proudem a tlak je vyvozen v místě svaru buď elektrodami, nebo samotnými částmi. Proud se přivádí pomocí elektrod, které jsou vyrobeny z mědi nebo ze slitin mědi. Podle konstrukčního uspořádání elektrod se rozděluje odporové svařování na bodové, švové, výstupkové a stykové.

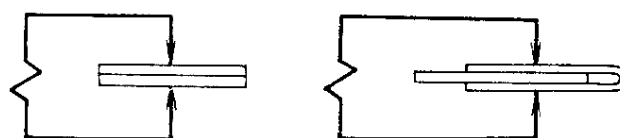
Výhody odporového svařování:

- rychlost svařování
- svar vzniká bez přídavného materiálu
- dají se svařovat mnohé materiály
- mnohonásobně vyšší produktivita než jiné metody svařování
- uplatnění ve velkosériové výrobě

### 2.1 Bodové svařování

Podle ČSN EN ISO 17677 – 1 [9] je bodové svařování definováno jako odporové svařování, při kterém se vytváří bodový svar svařovaných materiálů mezi svařovacími elektrodami. Bodový svar má přibližně stejnou plochu jako čela elektrod.

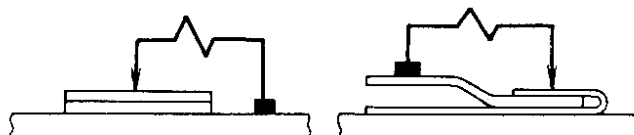
Spoj se vytváří ve tvaru čoček mezi překládanými dílci. Podle uspořádání elektrod se dělí na přímé (Obr. 2.1) a nepřímé (Obr. 2.2). U přímého bodového svařování se vytváří svar mezi elektrodami umístěné souose z opačných stran svařovaných dílců. U nepřímého bodového svařování je svar vytvořen elektrodami, které jsou umístěny v různých osách z jedné strany svařovaných dílců. Tyto metody mohou být s bočním proudem a bez bočního proudu. U metody bez bočního proudu (Obr. 2.1a, 2.2a) sekundární proud protéká pouze přes vytvářené svary. U metody s bočním proudem (Obr. 2.1b, 2.2b) část sekundárního proudu odbočuje mimo vytvářené svary.



a)

b)

Obr. 2.1 Bodové svařování přímé [1]  
a) bez bočního proudu, b) s bočním proudem



a)

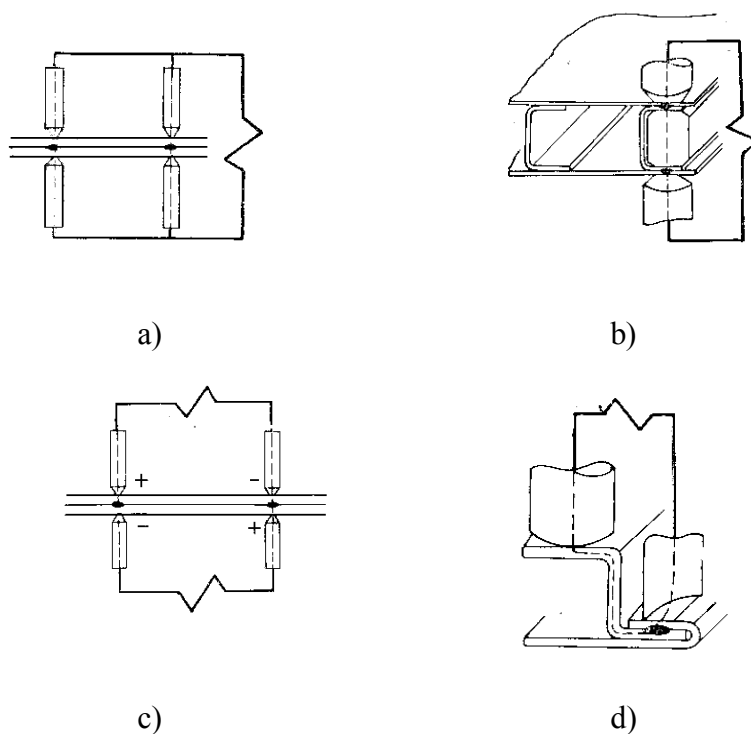
b)

Obr. 2.2 Bodové svařování nepřímé [1]  
a) bez bočního proudu, b) s bočním proudem

Další rozdělení je podle počtu vytvořených bodů na jednobodové, dvoubodové a vícebodové. U jednobodového se na jednom stroji v okamžiku zhotoví pouze jeden svar. Při dvoubodovém a vícebodovém se na jednom stroji s použitím dvou a více elektrod zhotoví dva a více bodů najednou.

Podle dalšího hlediska rozeznáváme paralelní a sériové. Paralelní svařování (Obr. 2.3a) patří do přímého bodového svařování, při kterém se pomocí dělené elektrody současně vytvoří více svarů vedle sebe. U sériového svařování (Obr. 2.3b) se zhotoví minimálně dva svary v sérii. Ke zvláštním způsobům patří například dvoubodové svařování v protitlaku nebo-li push-pull (Obr. 2.3c). Tato metoda je podobná paralelnímu svařování s tím rozdílem, že protilehlé dvojice elektrod jsou připojeny k samostatným transformátorům s okamžitou opačnou polaritou. Další metoda je bodové svařování na podložce (Obr. 2.3 d). U této metody je z jedné strany svařovaných dílců umístěna podložka.





Obr. 2.3 Metody bodového svařování [1]  
 a) paralelní, b) sériové, c) push-pull, d) na podložce

### 3. ZÁKLADNÍ SVAŘOVACÍ PARAMETRY

K základním svařovacím parametrům patří svařovací síla, svařovací proud a čas [1]. Svařovací síla se někdy nazývá také elektrodová síla, protože je vyvozena elektrodami. Tato síla může být v průběhu svařování konstantní nebo se může v závislosti na čase měnit. Svařovací síla má dvě hlavní funkce, elektrickou a metalurgickou. Elektrická funkce má za úkol vznik potřebného kontaktu, při malé síle by nevznikl potřebný kontakt mezi svařovanými dílci. Metalurgická funkce působí při tuhnutí na velikost zrna a při tavení zabraňuje expanzi roztaveného jádra [1]. Svařovací proud a čas jsou rozhodujícími činiteli na vznik potřebného tepla ve svařovaných součástích. Svařovací proud může být při svařování konstantní nebo se může v průběhu měnit proměnlivě nebo přerušovaně. Svařovací čas je časový interval, kdy materiálem protéká proud, udává se obvykle v jednotkách period nikoliv v sekundách (1 per = 0,02 s). Mezičas je čas, od úplného ukončení svařovacího cyklu do začátku nového.

### 3.1 Elektrické teplo

Při průchodu proudu se vyvíjí elektrické teplo v závislosti na odporu v daném místě. Toto místo musí mít proto co největší odpor a co nejmenší tepelné ztráty. V průběhu svařovacího procesu se v důsledku rostoucí teploty elektrický odpor i hodnota svařovacího proudu v čase mění. Celkové vzniklé teplo lze vyjádřit pomocí Joulova zákona podle rovnice (1) [1].

$$Q = \int_0^t RI^2 dt \quad (1)$$

kde je:

Q .. teplo [J]

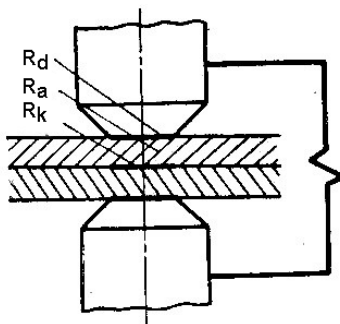
R .. celkový činný odpor [ $\Omega$ ]

I ... protékající proud [A]

dt .. diferenciál času

### 3.2 Celkový činný odpor

Celkový činný odpor je součet dílčích odporů mezi elektrodami. Je složen z přechodového a vnitřního odporu. Přechodový odpor je mezi elektrodami a svařovaným materiálem a mezi materiály. Odpor vnitřní je odpor v materiálu [1].



Obr. 3.1 Celkový činný odpor při bodovém svařování [1]

$R_d$  - odpor mezi materiálem a elektrodou,  $R_k$  - odpor mezi materiály,  $R_a$  - vnitřní odpor materiálu

Vnitřní odpor materiálu je vyjádřen rovnicí (2) [1]

$$R_a = \frac{4\kappa q^2 h}{\pi d^2} \quad (2)$$

kde je:

$\kappa$  .. součinitel zmenšení odporu [ $m^2/mm^3\Omega$ ],  $q$  .. měrný odpor [ $\Omega mm^2/m$ ] (Tab. 3.1)

$h$  .. tloušťka svařovaných plechů [mm],  $d$  .. průměr dotykové plochy [mm]

Tab. 3.1 Tabulka měrných elektrických odporů při teplotě 20°C [1]

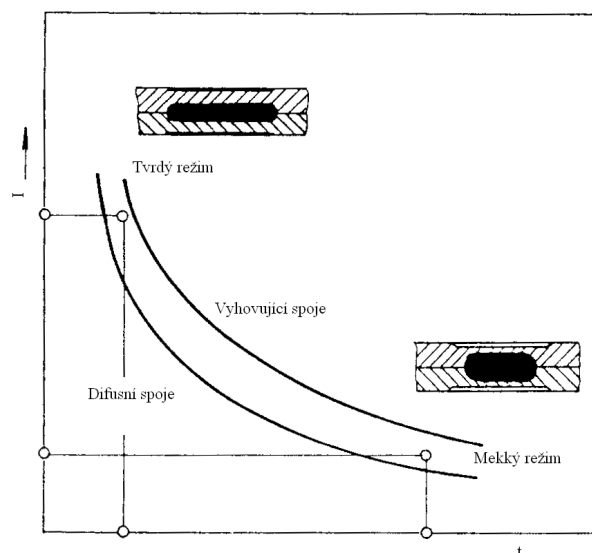
<b>Materiál</b>	<b>q [<math>\Omega\text{m}</math>]</b>	<b>Materiál</b>	<b>Q [<math>\Omega\text{m}</math>]</b>
Cín	0,11	Čisté železo	0,1
Měď	0,0175	Nízkouhlíková ocel	0,12 – 0,2
Olovo	0,21	Rychlořezná ocel	0,48
Platina	0,21	Nerezavějící ocel	0,7 – 0,75
Wolfram	0,05	Mosaz	0,09

### 3.3 Měkký a tvrdý svařovací režim

Na vytvoření svarového spoje je nutné určité množství tepla. V souladu se vztahem (1) lze určité množství tepla ve svaru dodat při různé kombinaci velikostí proudu a času. V praxi se často pro kombinaci vysokého proudu a krátkého času používá pojem tvrdý režim a pro kombinaci nízkého proudu a dlouhého času pojem měkký režim. Na obr. 3.2 je znázorněna oblast využití tvrdého a měkkého svařovacího režimu.

Měkký svařovací režim je režim, u kterého se uplatňují malé proudy a malé síly, ale dlouhé časy. Výhodou tohoto režimu je, že nevyžaduje stroje velkého příkonu a umožňuje používat menší průřezy elektrických vodičů. Tato metoda má nižší produktivitu, protože vyžaduje delší strojní časy. Nevýhoda tohoto režimu je, že vznikají velké deformace a napětí ve svarových spojích a je doprovázena hrubozrnnou strukturou.

Tvrdý svařovací režim je opakem měkkého režimu. Jde zde o velké proudy a síly, ale krátké časy. Výhodou tohoto režimu je, že vznikají minimální napětí a deformace ve svařovaných součástích a snižuje spotřebu elektrické energie a elektrod. K tvrdému režimu se používají stroje velkých příkonů a silnějších konstrukcí.



Obr. 3.2 Oblast využití měkkého a tvrdého svařovacího režimu [1]

#### 4. ELEKTRODY

Klasifikace materiálů používaných na elektrody se provádí podle RWMA. Elektrody jsou součástí sekundárního obvodu svářečky a přichází do přímého styku se svařovacím dílcem. Jejich hlavní úkol je přivádět proud do svařovacího místa. Elektrody jsou namáhané elektricky (procházejícím proudem), mechanicky (svařovacím tlakem) a metalurgicky (difuze prvků mezi materiálem elektrod a základním materiálem). Tyto elektrody jsou zhotoveny z materiálu, jehož základní složka je měď.

Vlastnosti ideálního materiálu pro elektrody je vysoká elektrická a tepelná vodivost i za tepla, mechanická pevnost, co nejvyšší teplota měknutí, malý sklon k legování svařovaným materiálem, odolnost proti oxidaci s malým přechodovým odporem, dobrá obrobiteľnosť a nízké výrobní náklady [1]. V praxi je nutno mezi vlastnostmi ideálního materiálu hledat kompromisní řešení. Zvýšení mechanické odolnosti materiálu elektrod se dosahuje tvářením za studena (zpevněním), nebo tepelným zpracováním (vytvrzováním).

Systém identifikace elektrodových materiálů podle Resistance Welding  
Manufacturing Alliance (RWMA) [12]

Skupina A - měď a měděné slitiny (tab. 4.1)

Skupina B - žáruvzdorné kovy a žáruvzdorné kovové kompozity (tab. 4.2)

Skupina C – speciální materiály

Tab. 4.1 Skupina A základní slitiny mědi

Třída	Zpracování	Složení	RWMA Číslo slitiny	Tvrdost Rockwell	Pevnost v tlaku [psi]	Teplota měknutí ° C ° F	
1	Výkovek*	Měď Kadmium	1.16200	70 B	65000	350	660
1	Výkovek**	Měď Zirkonia	1.15000	70 B	66000	500	930
2	Odlitek Výkovek***	Měď Chrom	2.182000	70 B 83 B	50000 75000	500 500	930 930
2	Výkovek***	Měď Chrom Zirkon	2.18150	83 B	75000	500	930
3	Odlitek	Měď, Nikl Křemík Chrom	3.18000	90 B	85000	455	850
3	Odlitek Výkovek	Měď, Nikl Berylium	3.17510	95 B 100 B	95000 110000	455 455	850 850
4	Odlitek Výkovek	Měď Berylium	4.17200	38 C 38 C	110000 170000	375 375	710 710
5	Odlitek	Měď, hliník	5.95300	92 B	85000	620	1150
	Odlitek Výkovek	Čistá měď	.	30 B 40 B	25000 40000	200 200	390 390

\* tyč tažená za studena na průměr 25,4 mm

\*\* tyč tažená za studena na průměr 15,9 mm

\*\*\* tyč tažená za studena na průměr 25,4 mm a tepelně zpracována

psi - je anglosaská jednotka tlaku, definována jako libra síly na čtverečný palec

1 psi  $\approx$  6 894,757 Pa

Tab. 4.2 Skupina B žáruvzdorné kovové slitiny

<b>Třída</b>	<b>Složení</b>	<b>RWMA Číslo slitiny</b>	<b>Tvrdost Rockwell</b>	<b>Pevnost v tlaku [psi]</b>
<b>10</b>	<b>Wolfram, Měď</b>	<b>10.74450</b>	<b>77 B</b>	<b>63000</b>
<b>10</b>	<b>Wolfram, Měď</b>	<b>-</b>	<b>90 B</b>	<b>75000</b>
<b>10</b>	<b>Wolfram, Měď</b>	<b>-</b>	<b>95 B</b>	<b>85000</b>
<b>11</b>	<b>Wolfram, Měď</b>	<b>11.74400</b>	<b>98 B</b>	<b>90000</b>
<b>12</b>	<b>Wolfram, Měď</b>	<b>12.74350</b>	<b>103 B</b>	<b>98000</b>
<b>12</b>	<b>Slitiny Wolframu Měď</b>	<b>-</b>	<b>105 B</b>	<b>120000</b>
<b>12</b>	<b>Slitiny Wolframu Měď</b>	<b>-</b>	<b>109 B</b>	<b>160000</b>
<b>12</b>	<b>Karbid Wolframu Měď</b>	<b>-</b>	<b>94 B</b>	<b>70000</b>
<b>12</b>	<b>Karbid Wolframu Měď</b>	<b>-</b>	<b>100 B</b>	<b>75000</b>
<b>12</b>	<b>Karbid Wolframu Měď</b>	<b>-</b>	<b>37 C</b>	<b>85000</b>
<b>12</b>	<b>Karbid Wolframu Měď</b>	<b>-</b>	<b>47 C</b>	<b>150000</b>
<b>13</b>	<b>Wolfram</b>	<b>13.74300</b>	<b>39 C</b>	<b>150000</b>
<b>14</b>	<b>Molybden</b>	<b>14.42300</b>	<b>90 B</b>	<b>80000</b>

#### Jednodílné elektrody [1]

Jejich výhodou je přímé chlazení elektrodové špičky a tím i vyšší životnost elektrody. Při výměně opotřebované elektrody se naruší i chladicí okruh, což je jedna z nevýhod těchto elektrod. K další nevýhodě patří větší spotřeba elektrodového materiálu při výměně.

#### Dvoudílné elektrody [1]

Používají se pro svařování nelegovaných ocelí. Tyto elektrody mají vyměnitelnou aktivní část. Po opotřebení se vymění pouze čapka, což má hlavní výhodu v úspoře elektrodového materiálu. Další výhodou je, že při vyměňování opotřebované elektrody nedochází k narušení chladicího okruhu. Nepřímé chlazení elektrodové čapky však zkracuje její životnost, ale dřík elektrody má životnosti 10 – 12 výměn čapek. Tyto elektrody jsou vhodné pro nenormalizované tvary elektrod. Mohou být s našroubovanou, připájenou, nebo s nalisovanou čapkou.

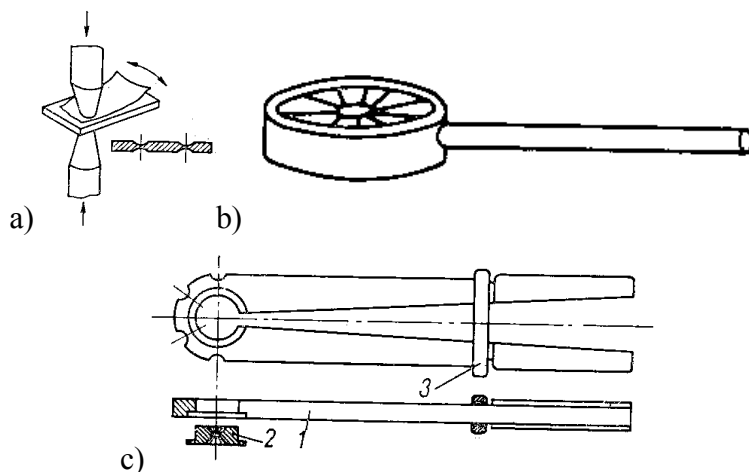
## 4.1 Životnost elektrod

V souladu s normou ČSN EN ISO 8166 je životnost elektrod definována jako počet svarů, které mohou být provedeny v požadované jakosti svaru před nezbytnou úpravou dotykové plochy elektrody.

Životnost elektrod závisí na režimech svařování. U tvrdého režimu dosahují elektrody delší životnosti, než u režimu měkkého. Dále závisí na intenzitě chlazení, proto se pro zvýšení ochlazovací intenzity používají elektrody chlazené zevnitř a vnějšku.

Nebezpečí pro elektrody je změknutí materiálu elektrody v místě styku s plechem a nebezpečí metalurgických změn elektrody. V důsledku tepelného namáhání dochází ke ztrátě mechanických vlastností. Zpevnění materiálu získané tvářením za studena se ztrácí rekrytalizací a zpevnění dosažené vytvrzováním se ztrácí při překročení teploty umělého stárnutí. V extrémních případech může při tepelném přetížení pracovní plochy elektrody dojít k natavení a propálení elektrod.

Pracovní plocha elektrody se musí udržovat hladká. Lze ji upravovat jemným smirkovým plátnem. Tato úprava je nutná protože na povrchu elektrod se tvoří vrstva kysličníků. Tuto úpravu nesmíme provádět hrubými nástroji. Použitím hrubého nástroje má za následek zdrsnění povrchu a velmi zkracuje životnost elektrody. Elektrody se v některých případech dají upravovat přímo na stroji pomocí jednoduchých nástrojů (Obr.4.1) .

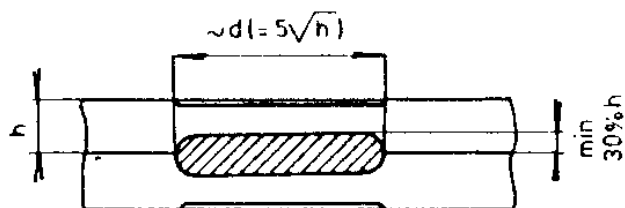


Obr. 4.1 Možnost úprav elektrod přímo na stroji [1]

- a) Smirkové plátno pro údržbu hrotu, b) Přípravek s otáčejícími se hroty pro opracování špičky, c) Kleště s výměnným frézovacím kroužkem, 1 – kleště, 2 – fréza, 3 – zděř

## 5. KVALITA SVARU

Kvalita bodového svaru je dána především jeho geometrií a odolností proti mechanickému porušení. Vždy však je nutno stanovit jednoznačná kritéria hodnocení, která při kontrole umožní svary kvalifikovat jako vyhovující (Obr. 5.1) nebo nevyhovující. Při hodnocení kvality svarového spoje je nutno zvolit vhodný metodický postup tak, aby byla stanovena jednotlivá kritéria hodnocení.



Obr. 5.1 Optimální konfigurace a rozměry bodu [2]

Bod správného tvaru má mít přibližně stejný velký průměr jako pracovní část elektrody a měl by být symetrický. Výška bodu má být minimálně 30% svařovaného plechu, ale ne více jak 70% tloušťky obou plechů [2]. Vtisky po elektrodách by měly být pravidelné a malé.

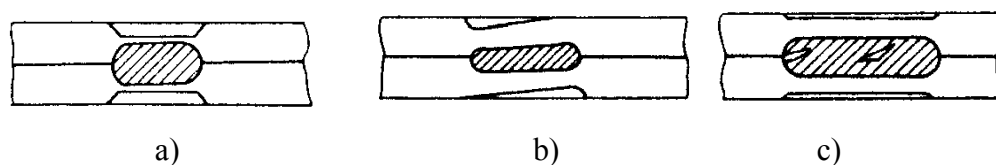
Norma ČSN EN ISO 6520 – 2 souhrnně uvádí možné vady ve svarech, které byly svařeny tlakovým svařováním. Nejsou zahrnuty vady metalurgického charakteru. Vady vznikající jiným způsobem než svařováním, například přídavným napětím, namáháním nebo vlivy okolního prostředí nejsou v této normě uvedeny.

Skupiny vad podle ČSN EN ISO 6520 – 2 [10]

- P1 - Trhliny – Vada způsobená místním porušením, které může vzniknout vlivem ochlazování nebo napětí
- P2 - Dutiny – Dutina vytvořená plynem uzavřeným v čočce, ve svaru nebo v tepelně ovlivněné oblasti
- P3 - Pevné vměstky – Tuhá cizí látka zachycená ve svaru
- P4 - Studené spoje – Nedostatečné spojení (natavení) ve spoji
- P5 - Vady tvaru – Odchylka od požadovaného tvaru spoje
- P6 – Ostatní vady nezahrnuté do skupin P1 až P5



Nejčastější chyby jsou způsobeny nedostatečnou nebo přebytkovou energií. Při nedostatku energie čochka vůbec nevznikne, nebo vznikne takzvaný difusní spoj (nalepený spoj), nebo se svar vytvoří, ale má nedostatečné rozměry. Takto vytvořené svary se už při malém namáhání rozlupují bez náznaku vytrhnutí materiálu. Při přebytku energie může dojít k výstřiku svařovaného materiálu a vtisky po elektrodách jsou hluboké (Obr. 5.2a).



Obr. 5.2 Chyby svarů [2]

a) vysoká čochka a velké otláčení, b) špatné dosednutí elektrod, c) praskliny

## 6. HODNOCENÍ KVALITY BODOVÝCH SVARŮ

Kvalita bodového svaru je hodnocena destruktivními a nedestruktivními zkouškami svarů. Provádění jednotlivých zkoušek se řídí příslušnými normami a při tom se respektuje norma ČSN EN ISO 14329, která pojednává o typu porušení a o měření odporových bodových svarů.

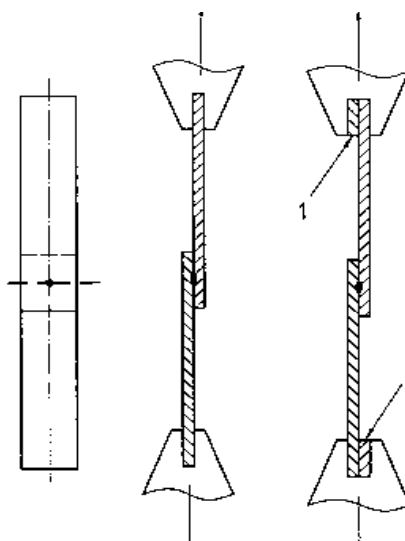
### 6.1 Mechanické zkoušky

Mechanickými zkouškami získáme údaje, které jsou podkladem pro pevnostní výpočet svařovaných součástí. Používají se zvláštní zkušební stroje a zařízení. Podle působení síly se rozdělují na statické a dynamické. Mechanické zkoušky statické určují chování materiálu při působení klidných spojitých sil zvětšujících se malou rychlostí. Svarový spoj se namáhá až do porušení. K těmto zkouškám patří smyková zkouška dle ČSN EN ISO 14273, křížová zkouška dle ČSN EN ISO 14272 a zkouška krutem dle ČSN EN ISO 17653.

#### 6.1.1 Smyková zkouška

Tato zkouška se provádí podle normy ČSN EN ISO 14273 Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Na obr. 6.1 je znázorněno provedení smykové zkoušky. Po provedení zkoušky se vypracuje protokol o zkoušce, který obsahuje metodu svařování, svařovací

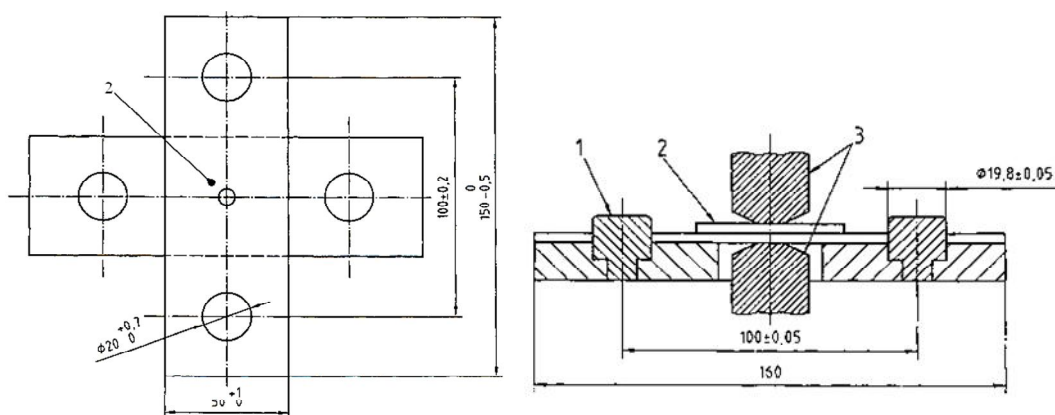
podmínky, druh materiálu a jeho vlastnosti, rozměry zkoušeného vzorku, typ porušení a naměřenou hodnotu maximální stříhové síly a rozměr svaru.



Obr. 6.1 Smyková zkouška [6]  
1 - podložky

### 6.1.2 Křížová zkouška

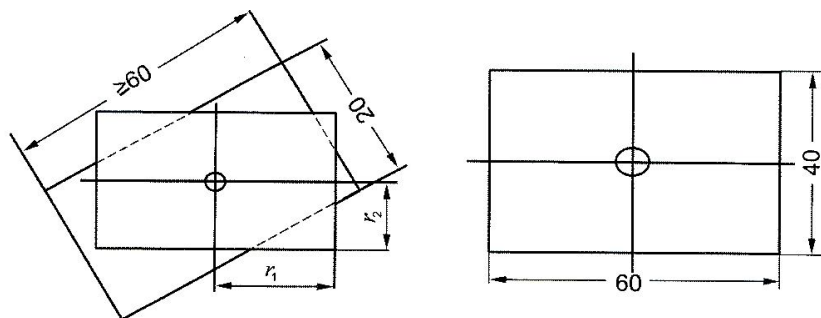
Tato zkouška se provádí podle normy ČSN EN ISO 14272 Rozměry vzorku a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových a výstupkových svarů. Zkušební vzorek je ve speciálním přípravku namáhán na vytržení (Obr. 6.2). Po provedení zkoušky se vypracuje protokol o zkoušce, který obsahuje metodu svařování, svařovací podmínky, druh materiálu a jeho vlastnosti, rozměry zkoušeného vzorku, typ porušení a naměřenou hodnotu maximální stříhové síly a rozměr svaru.



Obr. 6.2 Křížová zkouška [5]  
1 – přípravek, 2 – vzorek, 3 – svařovací elektrody

### 6.1.3 Zkouška krutem

Tato zkouška se provádí podle normy ČSN EN ISO 17653 Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška krutem odporových bodových svarů. Tato zkouška určuje deformační charakteristiky bodového svařování u různých typů ocelí a parametrů svařování. Protokol o zkoušce obsahuje svařovací zařízení, podmínky svařování, druh materiálu, průměr svaru, typ porušení, maximální krouticí moment a úhel zkroucení. Na obrázku (Obr. 6.3) je znázorněno provedení zkoušky.



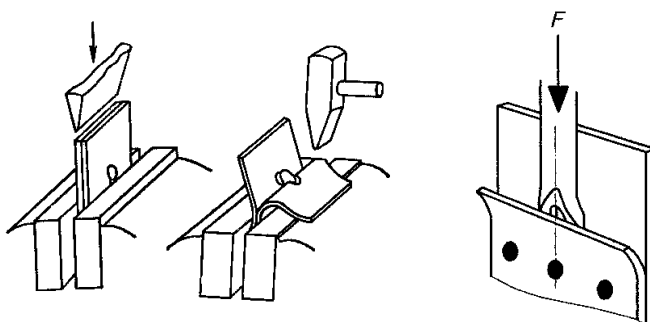
Obr. 6.3 Zkouška kroucením [8]

## 6.2 Technologické zkoušky

Provádějí se většinou za podmínek blízkých nebo podobných podmínkám skutečného zatížení součástí. Posuzuje se tak vhodnost materiálu pro určitou technologii. Mohou se realizovat zjednodušeně v dílně, nebo pak podle příslušných norem v laboratoři.

### 6.2.1 Zkouška sekáčem

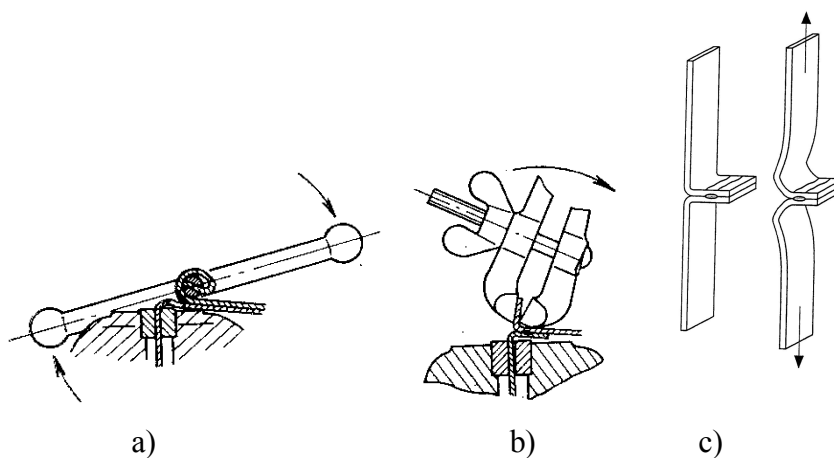
Nejběžnější dílenská zkouška, která pomáhá rychle nalézt chyby jako je například difusní spojení a křehkost a tím zabránit výrobu nevhodných spojů. Na obrázku (Obr.6.4) je znázorněn postup provedení této zkoušky.



Obr. 6.4 Postup zkoušky sekáčem [1, 3]

### 6.2.2 Zkouška odlupovací

Tato zkouška se provádí podle normy ČSN EN ISO 14270 Rozměry vzorku a postup pro mechanické odlupovací zkoušení odporových bodových, švových a výstupkových svarů. Odlupovací zkouška umožňuje jednoznačné odhalení difusních spojů a zjistí i oblasti přechodové zóny a křehkost. Je prováděna ručně nebo mechanicky. Výhodou oproti zkoušce sekáčem je, že nehrozí přeseknutí svaru. Účel zkoušky je stanovení potřebné síly pro odloupení, kterou zkušební vzorek vydrží. Posuzuje se typ porušení a rozměry vzniklého svaru. Na obrázku (Obr.6.5) jsou znázorněny jednotlivé způsoby odlupovací zkoušky.

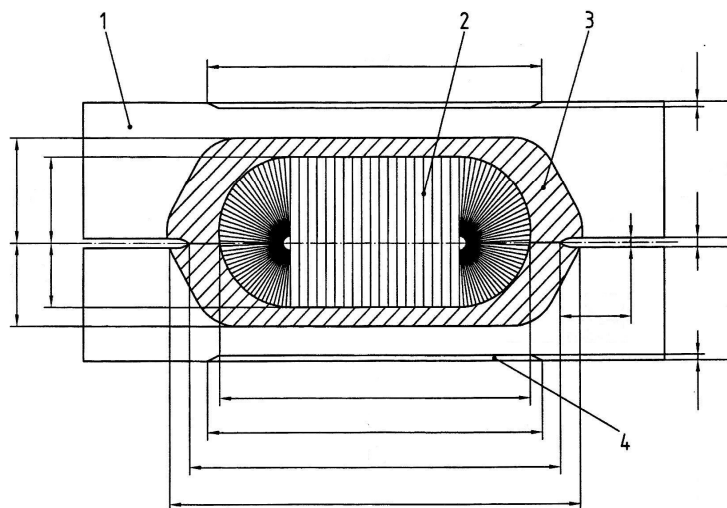


Obr. 6.5 Způsoby odlupovací zkoušky [1, 4]  
a), b) ruční, c) strojní

Další technologické zkoušky mají různá kritéria, jako jsou snést pád z předepsané výšky, některé nádoby mají snést vícenásobné zatížení než je jejich obsah [1].

### 6.3 Zkoušky metalografické

Provádí se podle normy ČSN EN ISO 1321. Slouží jako doplněk mechanické a technologické zkoušky, který se provádí u důležitých svarových spojů. Touto zkouškou získáme informace o struktuře svaru, přechodové oblasti, výskytu pórů, prasklin, bublin, atd. U bodového svaru se vede řez výbrusu v rovině průměru čočky (Obr 6.6). Na obrázku jsou vyznačeny i měřitelné geometrické parametry svaru.



Obr. 6.6 Měření příčného řezu svaru [11]  
 1 – základní materiál, 2 – svarová čouka, 3 – tepelně ovlivněná oblast,  
 4 – vtisk elektrody

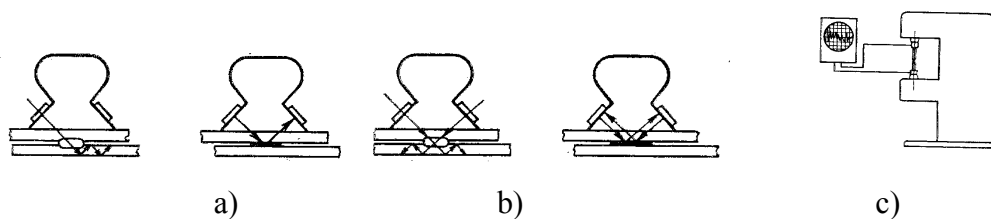
#### 6.4 Nedestruktivní zkoušky

Zkoušky, které umožňují spolehlivě zjistit kvalitu svaru ve svařované konstrukci bez porušení. Tyto metody jsou založeny na principu porovnávání hodnoty vybraného znaku zkoušeného svaru s hodnotou téhož znaku ověřenou na dobrých svarech. Nejčastější charakteristické znaky se používají sekundární svařovací proud, tepelná roztažnost čouky, prozařování rentgenovým zářením nebo průchod ultrazvukového signálu svarem.

##### Ultrazvukové zkoušení svarů

Při této zkoušce jsou použity speciální sondy a dva piezoelektrické krystaly umístěné ve stojanu z plexiskla [1].

- a) jeden krystal pracuje jako vysílací a druhý jako přijímací (Obr 6.7a). Při provařeném spoji se ultrazvuk pohybuje ve spodním plechu a na přijímací sondu nedopadne žádný odraz. U neprovařeného spoje se energie odrazí do přijímací sondy a je hlášena porucha.
- b) Obě sondy pracují jako přijímač a vysílač současně (Obr 6.7b). U tohoto typu lze zkoumat plechy tlustší než 1 mm.
- c) Ultrazvuková zkouška se sondami v elektrodách bodové svářečky (Obr 6.7c). Tato kontrola je přímá a umožňuje opravu přímo na stroji. Na obrazovce lze přesně určit i druh vady (trhliny a póry)



Obr. 6.7 Možnosti ultrazvukové zkoušky [1]

## 7. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

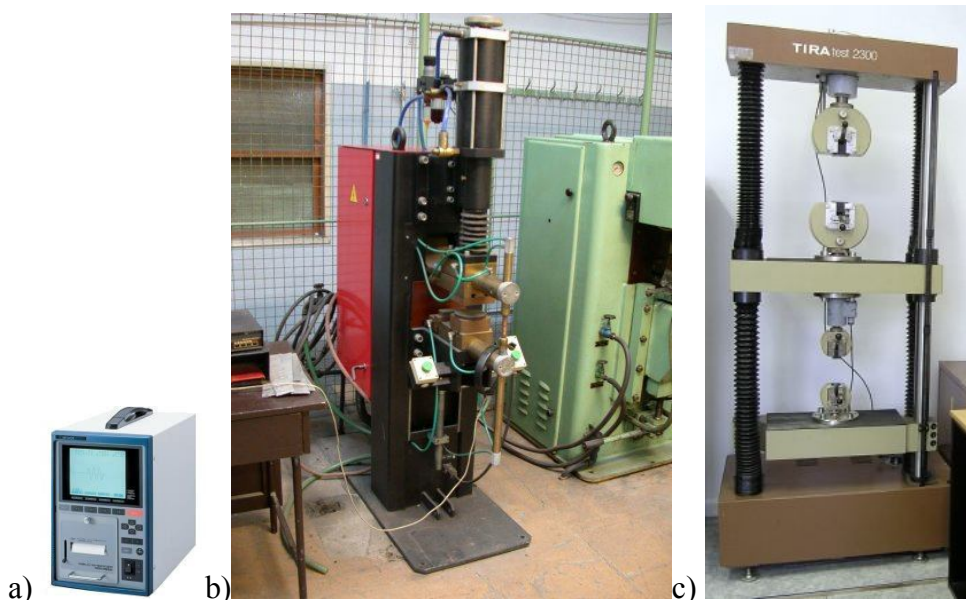
Cílem této bakalářské práce je analyzovat časové průběhy elektrických veličin u bodového odporového svařování a jejich souvislosti s kvalitou svaru při testu životnosti elektrod. Pro tento experiment byl vybrán materiál TKS RASSELSTEIN NEUWIED ZN 37/37 ST 1503, což byl ocelový plech tloušťky 0,8 mm s povlakem Zinek-Nikl o tloušťce 3,7  $\mu\text{m}$ . Z plechu byly na tabulových nůžkách nastříhány vzorky pro odlupovací zkoušku a zkoušku stříhem podle příslušných norem. Bylo připraveno celkem 26 dvojic plechů na odlupovací zkoušku a 16 dvojic na zkoušku stříhem.

Svařování bylo prováděno ve svařovně na odporovém svařovacím stroji WBLP 40 pro bodové svařování (Obr. 7.1b). Svařovací parametry byly zvoleny podle normy ČSN EN ISO 14373 (Tab.7.1). Ke svařovacímu stroji byl připojen přístroj MM-356B (Obr. 7.1a). Tento přístroj slouží k určení svařovacího proudu, svařovací síly a svařovacího napětí. A osciloskop připojený na počítač, který zaznamenával průběhy proudu a napětí v závislosti na čase, tyto závislosti byly uloženy v textovém souboru pod číslem vytvořeného svaru. Jelikož záznamy nezačínaly od nuly, což bylo zapříčiněno reakční dobou osciloskopu, tak se na začátek naměřených hodnot připočítalo 2800  $\mu\text{s}$ . Zkoušky byly provedeny podle příslušných norem na trhacím stroji TIRA test 2300 (Obr. 7.1c). Naměřené hodnoty byly zpracovány do přehledných tabulek a pro každou zkoušku byl vytvořen protokol o zkoušce.

Tab. 7.1 ČSN EN ISO 14373 Odporové svařování – Postup pro bodové svařování  
nepovlakovaných a povlakovaných uhlíkových ocelí [7]  
Směrné hodnoty svařovacích parametrů pro bodové svařování pozinkovaných  
ocelových plechů tloušťky 0,4 až 3,0 mm

Tloušťka jednoho plechu		Průměr plochy elektrody	Svařovací parametry					
			Pozinkováno ponorem <sup>a</sup>			Elektrolyticky pozinkováno <sup>b</sup>		
			Síla	Doba svaru v periodách <sup>c</sup>	Proud	Síla	Doba svaru v periodách <sup>c</sup>	Proud
mm	mm	mm	kN		kA	kN		kA
> 0,4	≤ 0,6	4	1,5 až 2,0	6 až 8	7 až 9	1,5 až 2,0	6 až 8	6 až 8
> 0,6	≤ 0,8	4	1,9 až 2,0	8 až 10	8 až 10	1,9 až 2,2	8 až 10	7 až 9
> 0,8	≤ 1,0	5	2,2 až 2,9	9 až 12	9 až 11	2,2 až 2,9	9 až 12	8 až 10
> 1,0	≤ 1,2	5	2,8 až 3,6	10 až 13	10 až 13	2,8 až 3,6	10 až 13	9 až 13
> 1,2	≤ 1,6	6	3,4 až 4,5	11 až 15	14 až 16	3,4 až 4,5	11 až 15	12 až 15
> 1,6	≤ 2,0	7	4,4 až 5,5	12 až 16	18 až 21	4,4 až 5,5	12 až 16	14 až 17
> 2,0	≤ 2,5	8	5,4 až 6,8	14 až 18	22 až 26	5,4 až 6,8	14 až 18	17 až 22
> 2,5	≤ 3,0	9	6,6 až 8,0	17 až 21	26 až 30	6,6 až 8,0	17 až 21	19 až 24

<sup>a</sup> Vhodné pro tloušťky povlaku G275 (t = 20 μm na jedné straně).  
<sup>b</sup> Vhodné pro tloušťky povlaku 7 μm na jedné straně.  
<sup>c</sup> 1 perioda = 0,02 s



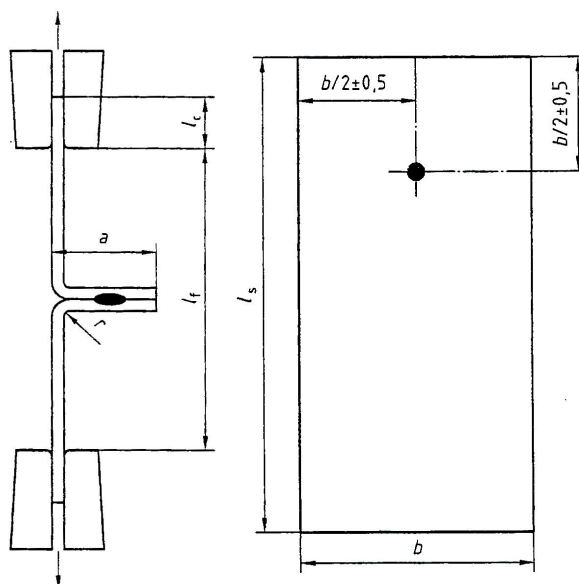
Obr. 7.1 Použité přístroje a stroje a) přístroj MM-356B, b) odporový svařovací stroj  
WBLP 40 pro bodové svařování, c) Trhací stroj TIRA test 2300

## 7.1 Příprava vzorků pro mechanické zkoušky

Pro odlupovací zkoušku byly vzorky nastříhány na rozměry podle normy ČSN EN ISO 14270 (Tab.7.2). Dále byly zbaveny nečistot a mastnoty. Následovně byla na jednom z dvojice plechů znázorněna poloha svaru (Obr. 7.2). Po svařování byly tyto vzorky ještě dodatečně ohnuty, kvůli uchycení těchto vzorků v trhacím stroji.

Tab. 7.2 Rozměry zkušební vzorku v mm dle normy ČSN EN ISO 14270 [4]

Tloušťka $t$	Překlátování $a$	Šířka vzorku $b$	Délka vzorku $l_s$
$0,5 < t < 1,5$	35	45	125



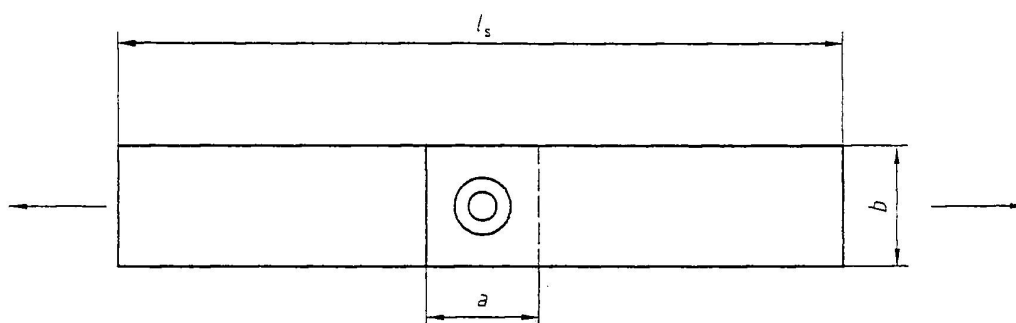
Obr. 7.2 Zkušební vzorek dle normy ČSN EN ISO 14270 [4]

Pro zkoušku stříhem byly vzorky nastříhány na rozměry podle normy ČSN EN ISO 14273 (Tab.7.3). Dále byly zbaveny nečistot a mastnoty. Následovně byla na jednom z dvojice plechů znázorněna poloha svaru a na druhém poloha překlátování.



Tab. 7.3 Rozměry zkušební vzorku v mm dle normy ČSN EN ISO 14273 [6]

Tloušťka <b>t</b>	Přeplátování <b>a</b>	Šířka vzorku <b>b</b>	Délka vzorku <b>l<sub>s</sub></b>
$0,5 < t < 1,5$	35	45	175

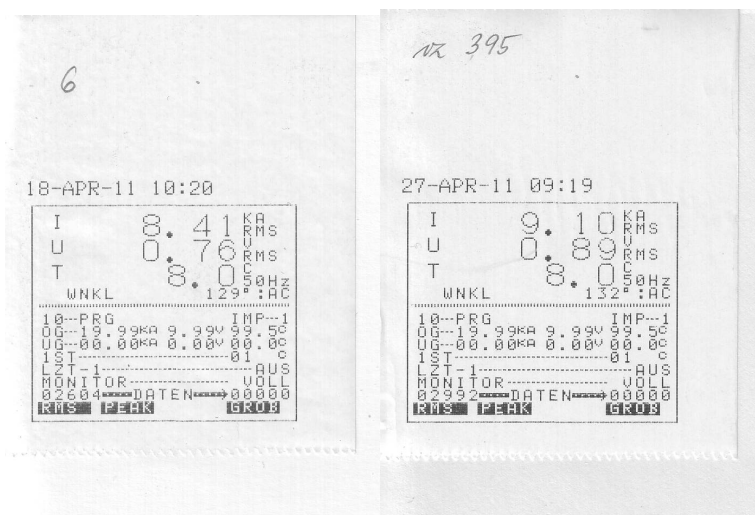


Obr. 7.3 Zkušební vzorek dle normy ČSN EN ISO 14273 [6]

Pomocné desky o rozměru 400 x 490 byly nastříhány a dále byly zbaveny nečistot a mastnoty. Následovně na ně byla nakreslena mřížka 30 x 30 mm, která udávala polohu jednotlivých svarů. Na deskách byly realizované svary mezi jednotlivými skupinami vzorků, které se nevyhodnocovaly.

## 7.2. Měření časových průběhů elektrických veličin

Pro měření střední hodnoty elektrických veličin byl využit přístroj MM-356B, který zaznamenal střední hodnotu proudu, napětí a svařovací čas v periodách. Jedna z měřících sond je připojena na horní elektrodu svářečky a druhá na dolní elektrodu svářečky. Po změření těchto hodnot jsem si vytiskl záznam naměřených hodnot (Obr. 7.4). Záznamy byly pro zpřehlednění zapsány do tabulky 7.4. Měření průběhů elektrických veličin bylo provedeno osciloskopem připojeným na počítač. Jako výstup z tohoto měření se využilo textového souboru s naměřenými hodnotami v časových úsecích po 400 mikrosekundách (Tab.7.5). Celkový čas průběhů svařovacího proudu a napětí je 8 period, což je v přepočtu 160000 mikrosekund. Průběhy jednotlivých veličin jsou v příloze 1 - 10. Jedná se o časové průběhy proudu, napětí a odporu, který byl určen maximální hodnotou svařovacího proudu v jednotlivých půlperiodách. Tabulky naměřených hodnot jsou na příloženém CD.



a)

b)

Obr. 7.4 Záznam naměřených hodnot z přístroje MM-356B

a) vzorek č.6, b) vzorek č.395

Tab. 7.4 Tabulka naměřených hodnot proudů, napětí a period z přístroje MM-356B

číslo vzorku	I[kA]	U[V]	T[1/50 s]	číslo vzorku	I[kA]	U[V]	T[1/50 s]
1	8,29	0,76	8	96	8,44	0,83	8
2	8,40	0,74	8	97	8,45	0,81	8
3	8,39	0,74	8	98	8,46	0,82	8
4	8,47	0,75	8	99	8,45	0,82	8
5	8,35	0,75	8	100	8,45	0,82	8
6	8,41	0,76	8	193	8,37	0,81	8
7	8,37	0,75	8	194	8,24	0,81	8
8	8,40	0,75	8	195	8,84	0,83	8
9	8,41	0,75	8	196	8,89	0,85	8
10	8,40	0,75	8	197	9,11	0,86	8
43	8,40	0,78	8	198	9,11	0,87	8
44	8,39	0,76	8	199	9,09	0,87	8
45	8,38	0,77	8	200	9,02	0,87	8
46	8,44	0,77	8	393	9,02	0,89	8
47	8,38	0,76	8	394	9,13	0,88	8
48	8,41	0,77	8	395	9,10	0,89	8
49	8,43	0,76	8	396	9,01	0,90	8
50	8,38	0,77	8	397	9,07	0,87	8
93	8,49	0,83	8	398	9,07	0,88	8
94	8,45	0,82	8	399	9,09	0,87	8
95	8,41	0,82	8	400	8,97	0,87	8

Tab. 7.5 Úsek naměřených hodnot 0 do 9600 mikrosekund z osciloskopu

t [μs]	U [mV]	I [kA]
0	0,000	0,000
2400	0,000	0,000
2800	156,250	0,595
3200	343,750	2,974
3600	468,750	4,312
4000	531,250	5,948
4400	468,750	6,840
4800	562,500	7,583
5200	531,250	8,178
5600	562,500	8,327
6000	625,000	8,029
6400	593,750	7,732
6800	562,500	7,286
7200	531,250	6,691
7600	437,500	5,948
8000	343,750	4,609
8400	187,500	3,569
8800	31,250	1,933
9200	-125,000	0,595
9600	-125,000	-0,149

### 7.3 Mechanické zkoušení svarů

Mechanická odlupovací zkouška byla provedena dle normy ČSN EN ISO 14270 [4] na trhacím stroji. Uchycení vzorku v čelistech trhacího stroje (Obr.7.5) je dle Tab. 7.6. U této zkoušky se zkoumala velikost maximální síly potřebné na rozrušení svaru, typ porušení svaru a velikost svaru. Maximální síla byla naměřena pomocí počítače připojeného na trhací stroj. Velikost svarů byla vypočtena jako střední hodnota dvou naměřených hodnot (3), které byly naměřeny posuvným měřidlem.

Zkouška stříhem byla provedena dle normy ČSN EN ISO 14273 [6] na stejném trhacím stroji jako předešlá zkouška. Uchycení vzorku v čelistech trhacího stroje (Obr 7.6) je dle Tab. 7.7. U této zkoušky se zkoumala velikost maximální síly potřebné na rozrušení svaru, typ porušení svaru a velikost svaru. Maximální síla byla naměřena pomocí počítače připojeného na trhací stroj. Velikost svarů byla vypočtena jako střední hodnota dvou naměřených hodnot (3), které byly naměřeny posuvným měřidlem.

$$d_s = \frac{d_2 + d_1}{2} \quad (3)$$

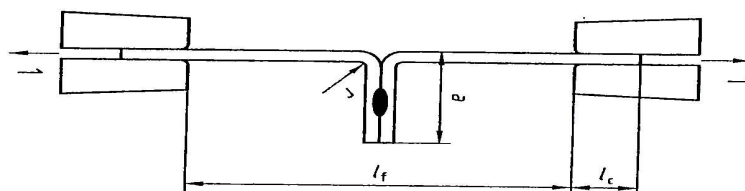
kde je:

$d_1, d_2 \dots$  Rozměry svařené čochy ve směru na sebe kolmém [mm]

$d_s, \dots$  Střední hodnota průměru svaru [mm]

Tab. 7.6 Rozměry upnutí vzorku v mm dle ČSN EN ISO 14270 [4]

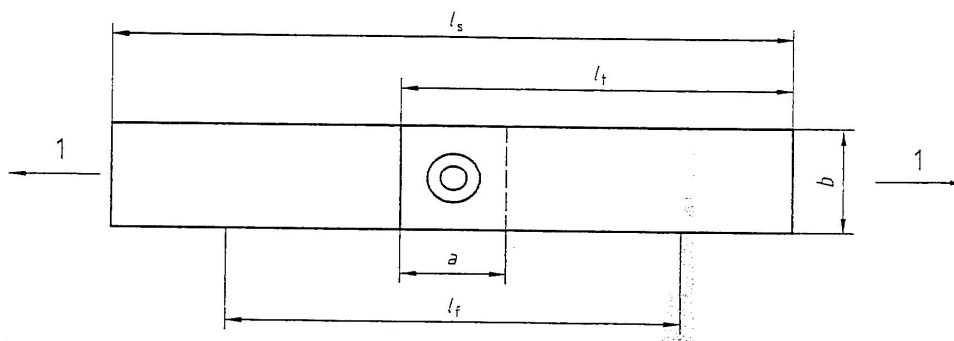
Tloušťka $t$	Přeplátování $a$	Volná délka mezi čelistmi $l_f$	Délka upnutí v čelistech $l_c$
$0,5 < t < 1,5$	35	95	40



Obr. 7.5 Upnutí vzorku v čelistech dle ČSN EN ISO 14270 [4]

Tab. 7.7 Rozměry upnutí vzorku v mm dle ČSN EN ISO 14273 [6]

Tloušťka $t$	Přeplátování $a$	Volná délka mezi čelistmi $l_f$	Délka upnutí v čelistech $l_c$
$0,5 < t < 1,5$	35	95	40



Obr. 7.6 Upnutí vzorku v čelistech dle ČSN EN ISO 14273 [6]

V tabulce 7.8 jsou uvedeny velikosti maximální síly a velikosti svarů z odlupovací zkoušky. Průběh síly v závislosti na prodloužení je znázorněn v protokolech o zkoušce v příloze 11 - 16. V tabulce 7.9 jsou uvedeny velikosti maximální síly a velikosti svarů u zkoušky stříhem. Průběh síly v závislosti na prodloužení je znázorněn v protokolech o zkoušce v příloze 17 - 20.

Tab. 7.8 Naměřené a vypočtené hodnoty z odlupovací zkoušky

číslo vzorku	F <sub>m</sub> [N]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>s</sub> [mm]	číslo vzorku	F <sub>m</sub> [N]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>s</sub> [mm]
1	432,02	2,40	2,25	2,325	46	416,92	2,70	2,80	2,750
2	490,03	2,35	2,74	2,375	93	517,89	3,90	4,15	4,025
3	458,94	2,20	2,55	2,375	94	513,87	3,80	4,05	3,925
4	478,43	2,60	2,75	2,675	95	521,20	4,00	3,85	3,925
5	453,88	2,10	2,45	2,275	96	525,12	3,90	4,05	3,975
6	437,61	2,40	2,75	2,575	193	478,74	4,35	3,90	4,125
7	459,87	2,55	2,85	2,700	194	476,67	3,55	3,75	3,650
8	490,41	2,60	2,65	2,625	195	513,58	3,95	4,30	4,125
9	467,49	2,70	2,75	2,725	196	596,42	4,40	4,75	4,575
10	457,96	2,45	2,80	2,625	393	747,91	4,90	5,10	5,000
43	541,14	2,90	3,40	3,150	394	711,01	4,80	5,15	4,975
44	440,55	2,60	2,70	2,650	395	679,16	5,05	5,20	5,125
45	465,37	2,70	2,65	2,675	396	674,59	5,10	5,45	5,275

F<sub>m</sub> ..... Maximální síla potřebná na přetržení svaru [N]

Tab. 7.9 Naměřené a vypočtené hodnoty ze zkoušky stříhem

číslo vzorku	F <sub>m</sub> [N]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>s</sub> [mm]	číslo vzorku	F <sub>m</sub> [N]	d <sub>1</sub> [mm]	d <sub>2</sub> [mm]	d <sub>s</sub> [mm]
47	2920,35	2,85	2,50	2,675	197	3254,84	4,65	5,20	4,925
48	2899,01	2,30	2,25	2,275	198	3350,86	4,75	5,30	5,025
49	3021,43	2,55	2,20	2,375	199	3229,70	4,80	5,25	5,025
50	3058,67	2,05	2,15	2,100	200	3344,50	4,75	5,45	5,100
97	2936,79	3,05	3,55	3,300	397	3277,32	5,10	5,25	5,175
98	2984,04	3,10	3,70	3,400	398	3526,85	5,35	5,55	5,450
99	3008,70	3,05	3,60	3,325	399	3382,71	5,15	5,25	5,200
100	3012,34	3,15	3,75	3,450	400	3302,42	5,05	5,30	5,175

F<sub>m</sub> ..... Maximální síla potřebná na přetržení svaru [N]

## **7.4 Vyhodnocení experimentu**

Na základě výsledků zkoušky stříhem a mechanické odlupovací zkoušky lze konstatovat, že výchozí svařovací parametry nebyly zvoleny správně. Nastavení výchozích parametrů respektovalo doporučení normy ČSN EN ISO 14373 a tyto parametry byly ověřeny orientačně pouze u dvou svarů podrobených ruční odlupovací zkoušce. Vzhledem k tomu že naměřené svary byly dostatečně velké, bylo při zkoušce životnosti elektrod výchozí nastavení parametrů ponecháno.

Z počátku zkoušky životnosti však realizované svary byly nedostatečné velikosti. Zajímavé bylo zjištění, že po zhotovení zhruba 150 svarových spojů byla velikost svarů dostatečná. Poslední svarové spoje realizované při zkoušce životnosti jsou z hlediska únosnosti vyhovující. Ve zkoušce nebylo pokračováno vzhledem k nedostatku základního materiálu.

## 8. ZÁVĚR

Úkolem bakalářské práce bylo analyzovat průběhy elektrických veličin odporového bodového svařování u vybraného základního materiálu při realizaci zkoušky životnosti elektrod. Zaznamenané průběhy elektrických veličin během zkoušky životnosti nepotvrdily jednoznačný soulad mezi kvalitou svaru. Vzhledem k tomu, že síly na porušení svarů jsou, při zkoušce stříhem u svarů s ohledem na rozměr, vyhovujících a nevyhovujících srovnatelné. Bylo by vhodné doplnit získané výsledky o metalografický rozbor.

V teoretické části jsem se zaměřil na seznámení s teoretickými základy odporového bodového svařování. Pozornost jsem věnoval volbě svařovacích parametrů a metodickým postupům hodnocení kvality svaru.

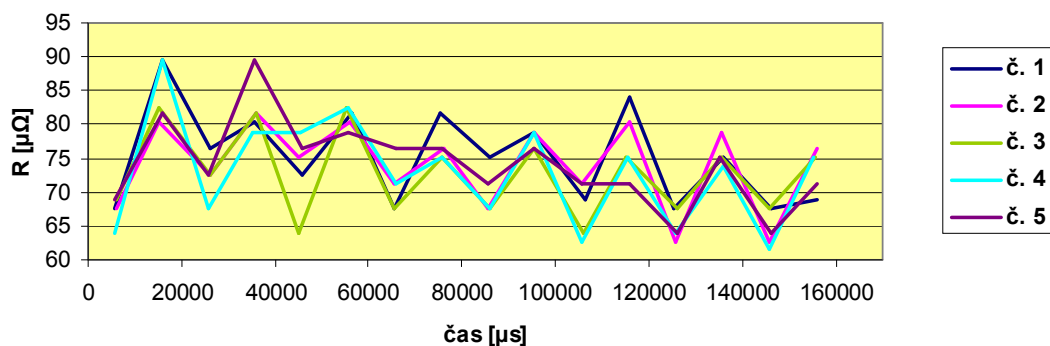
V praktické části jsem pro hodnocení kvality svarových spojů použil mechanickou odlupovací zkoušku a zkoušku stříhem. Naměřené výsledky prokázaly, že větší rozdíly v síle na porušení svarů byly u odlupovací zkoušky. To jen potvrzuje, že odlupovací zkouška lépe odhalí nalepené a difúzní spoje.

## 9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A SEZNAM PŘÍLOH

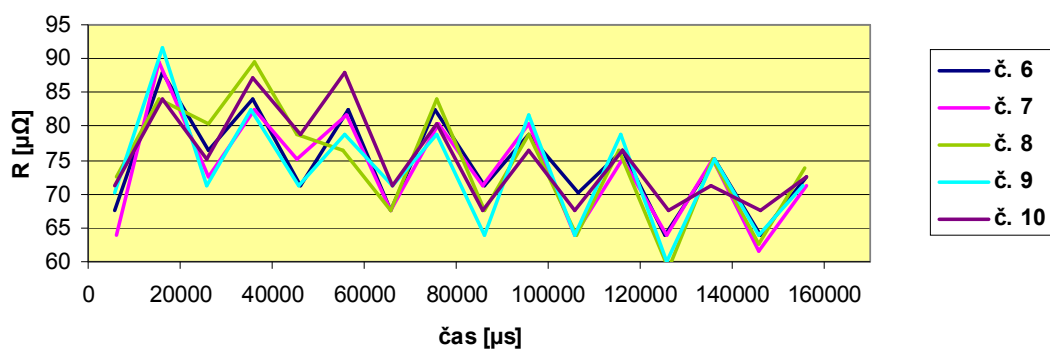
- [1] PLÍVA, J.: *Odporové svařování*. Praha: SNTL – Nakladatelství Technické Literatury, 1975. 264 s.
- [2] LIPA, M.: *Odporové zvárane*. Bratislava: WELDTECH, 1995. 81 s. ISBN 80-88734-13-4
- [3] ČSN EN ISO 10447.: *Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007. 16 s.
- [4] ČSN EN ISO 14270.: *Rozměry vzorku a postup pro mechanizované odlupovací zkoušení odporových bodových, švových a výstupkových svarů*. Praha: Český normalizační institut, květen 2003. 13 s.
- [5] ČSN EN ISO 14272.: *Rozměry vzorku a postup pro křížové zkoušení tahem odporových bodových a výstupkových svarů*. Praha: Český normalizační institut, květen 2003. 16 s.
- [6] ČSN EN ISO 14273.: *Rozměry vzorku a postup pro zkoušení stříhem odporových bodových, švových a výstupkových svarů*. Praha: Český normalizační institut, květen 2003. 13 s.
- [7] ČSN EN ISO 14373.: *Odporové svařování – Postup pro bodové svařování nepovlakovaných a povlakovaných uhlíkových ocelí*. Praha: Český normalizační institut, prosinec 2007. 20 s.
- [8] ČSN EN ISO 17653.: *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Zkouška krutem odporových bodových svarů*. Praha: Český normalizační institut, únor 2004. 12 s.
- [9] ČSN EN ISO 17677 – 1.: *Odporové svařování – Slovník – Část 1: Bodové, výstupkové a švové svařování*. Praha: Český normalizační institut, březen 2010. 44 s.
- [10] ČSN EN ISO 6520-2.: *Svařování a příbuzné procesy – Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 2: Tlakové svařování*. Praha: Český normalizační institut, duben 2003. 25 s.
- [11] ČSN EN ISO 1321.: *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Český normalizační institut, červenec 1998. 12 s.
- [12] SCI, 2005: *Spotwelding Consultants Incorporation*. Rowlett, URL: [http://www.spotweldingconsultants.com/CMW\\_catalog.pdf](http://www.spotweldingconsultants.com/CMW_catalog.pdf) [cit. 2011-05-05]



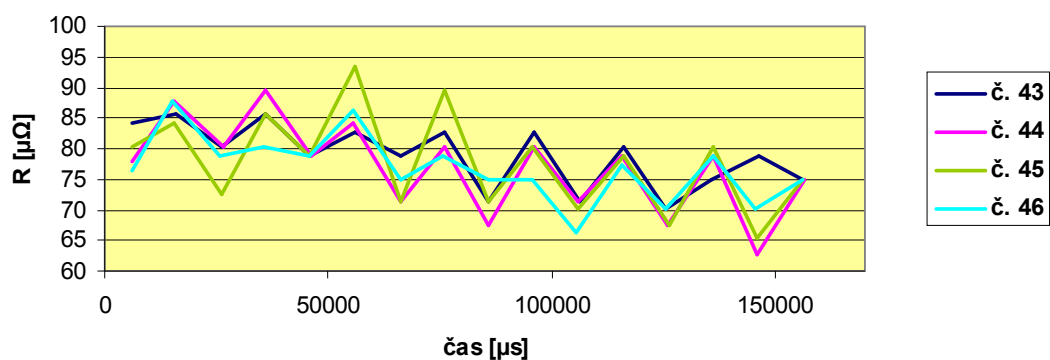
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



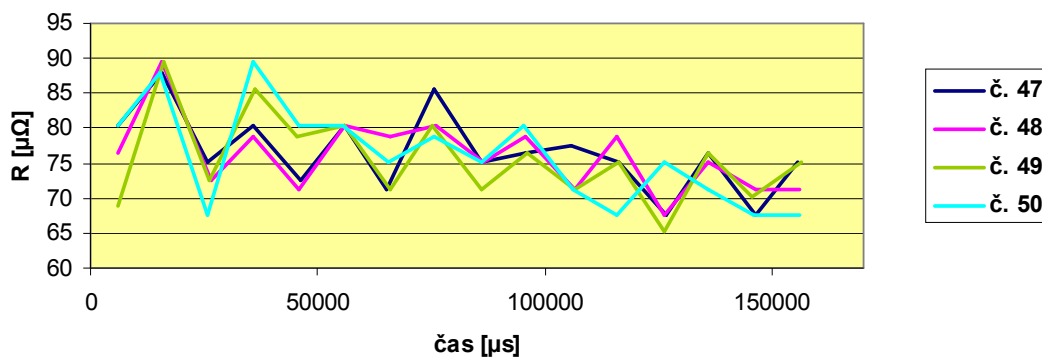
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



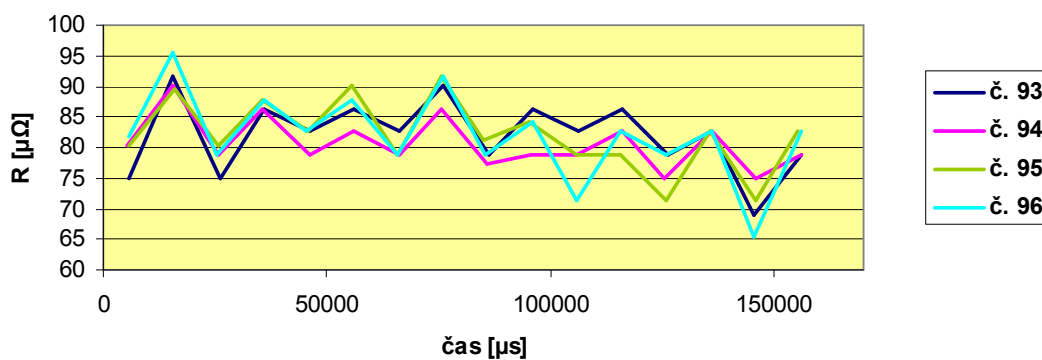
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



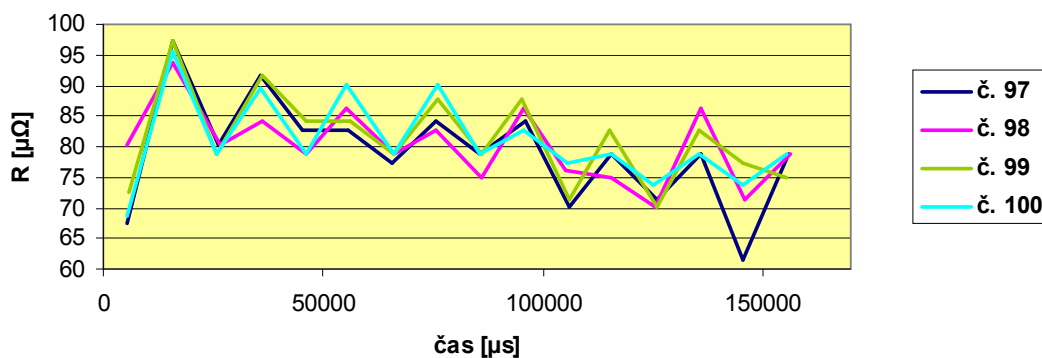
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



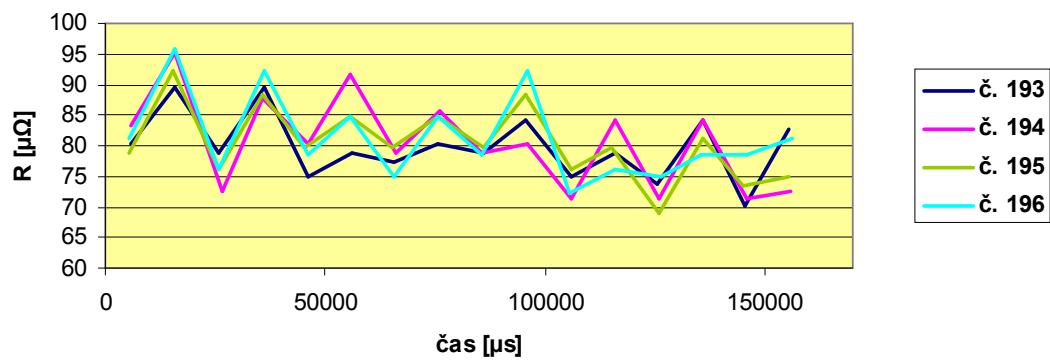
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



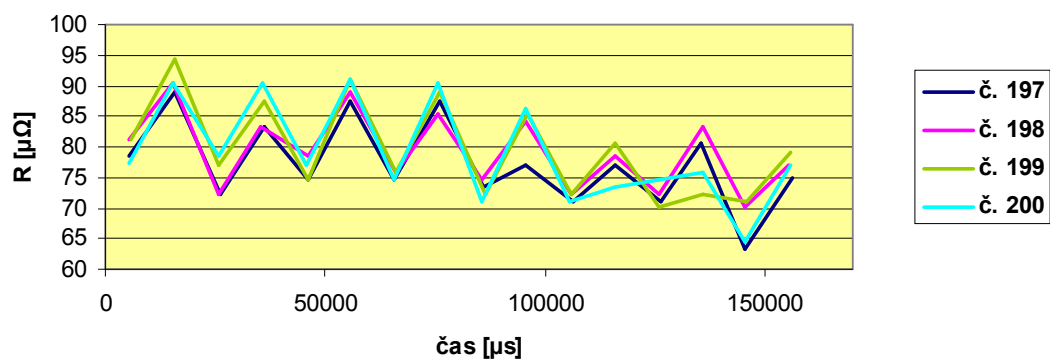
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



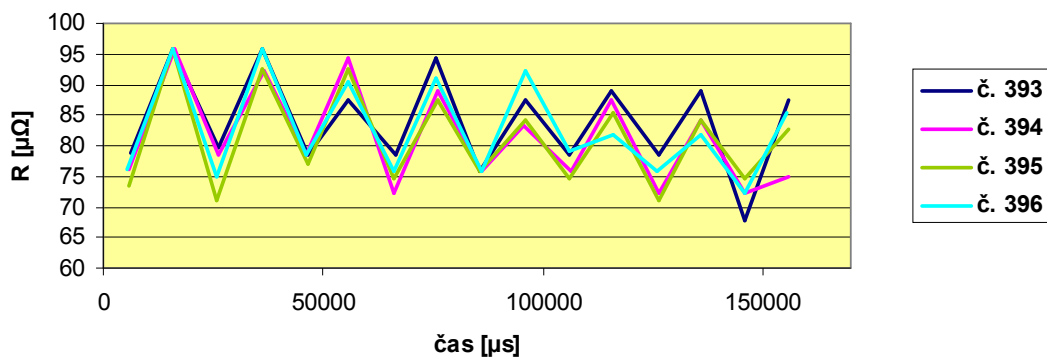
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



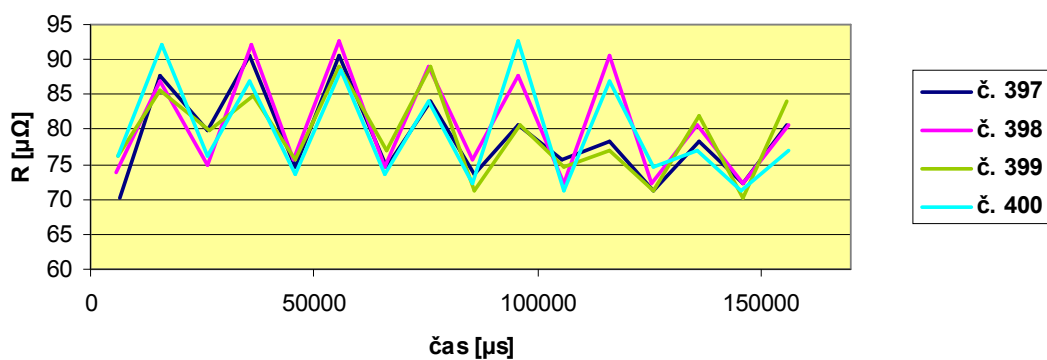
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



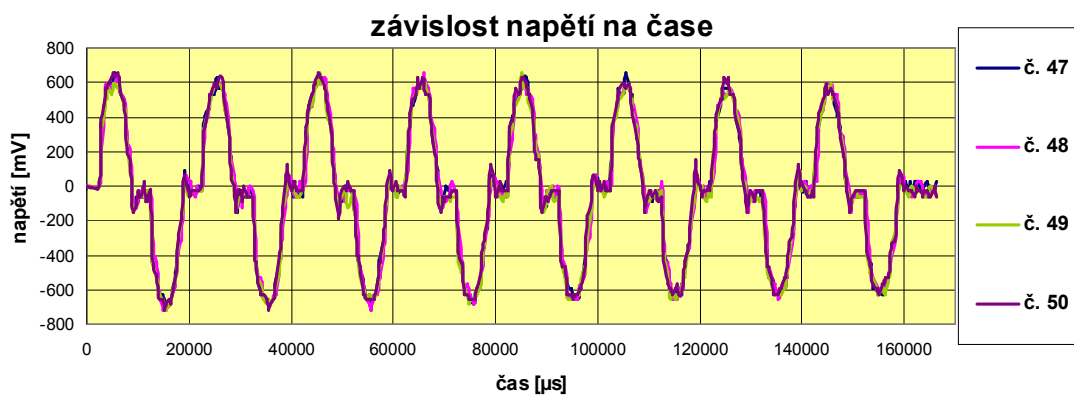
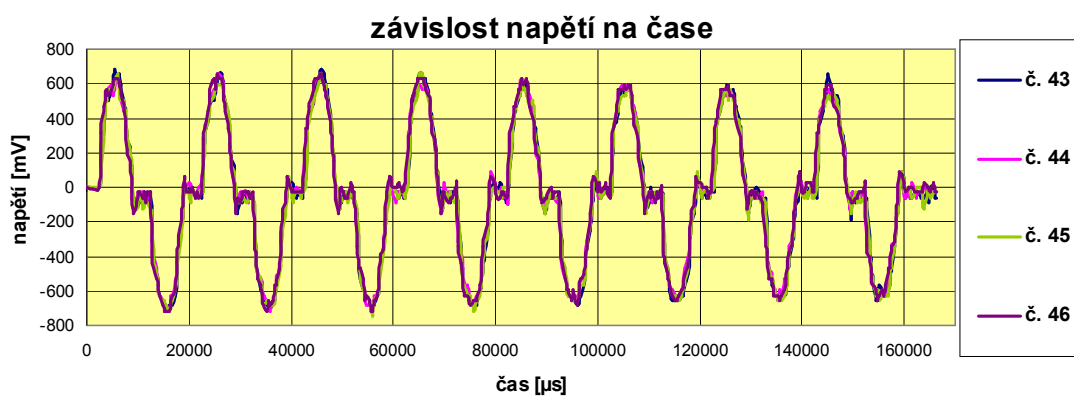
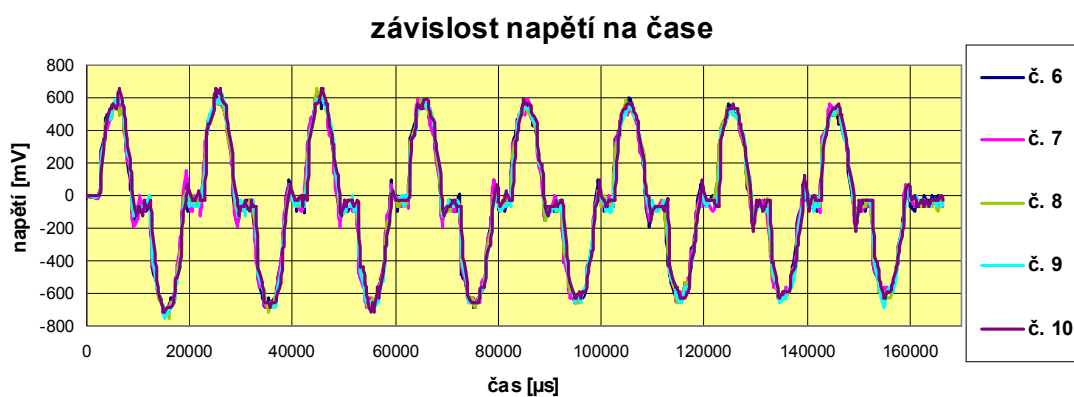
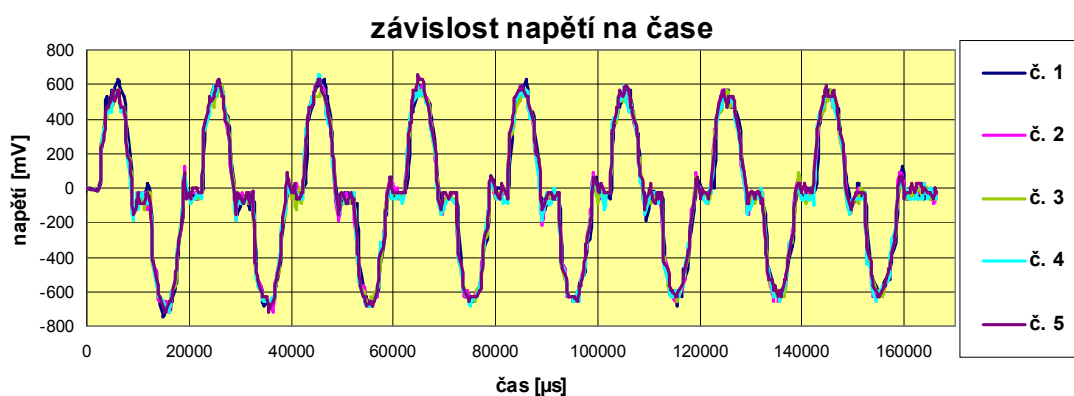
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



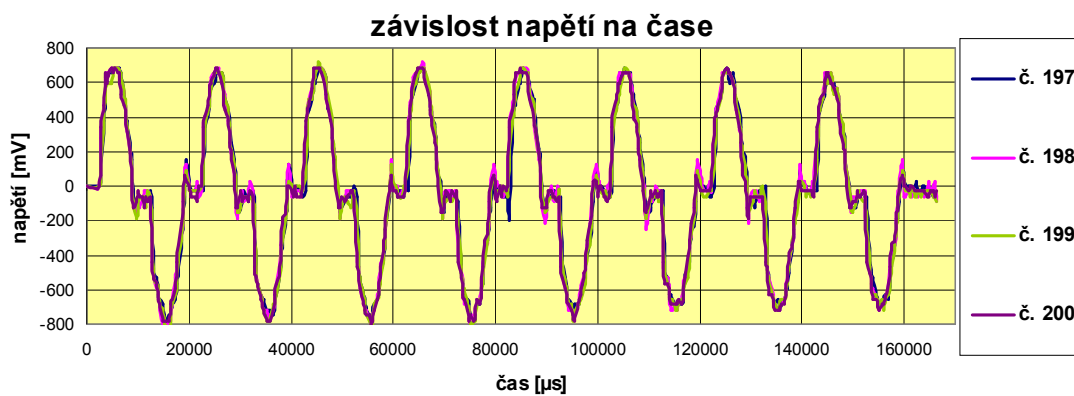
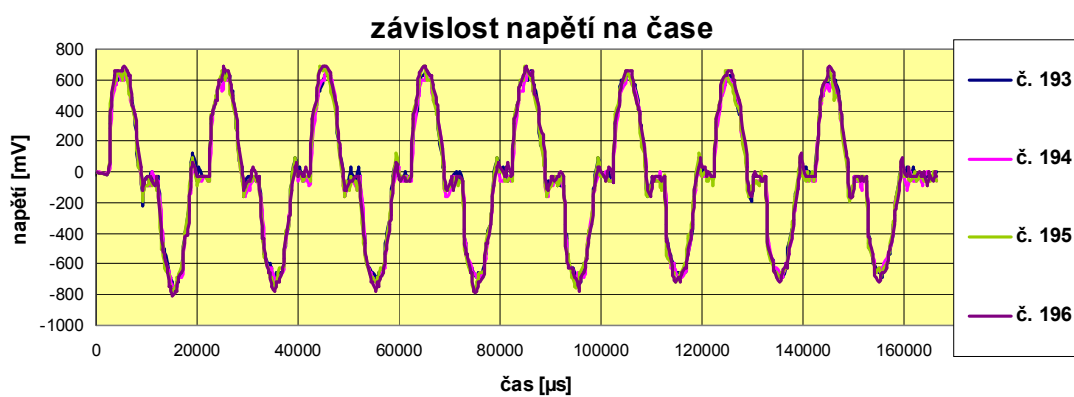
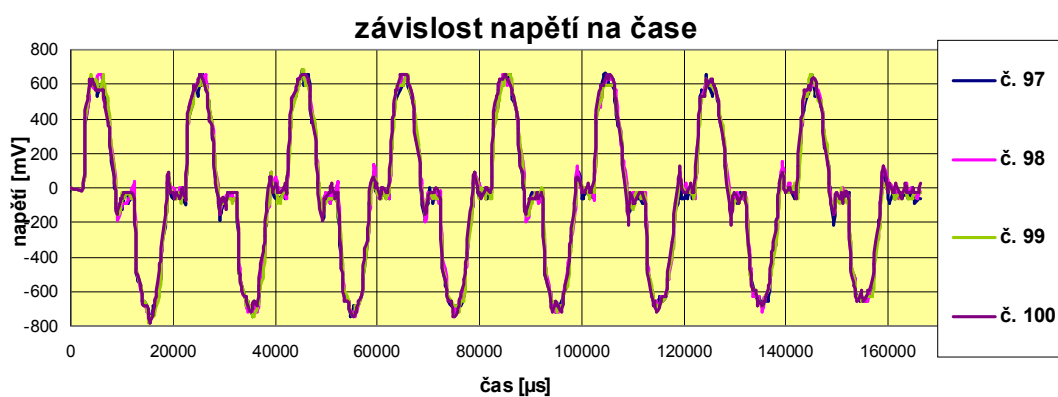
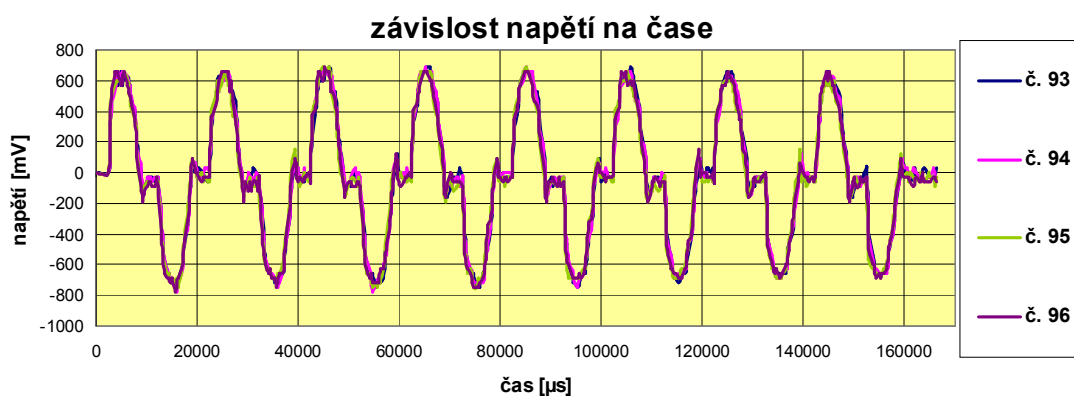
### Hodnoty odporu pro max. a min. hodnoty svařovacího proudu



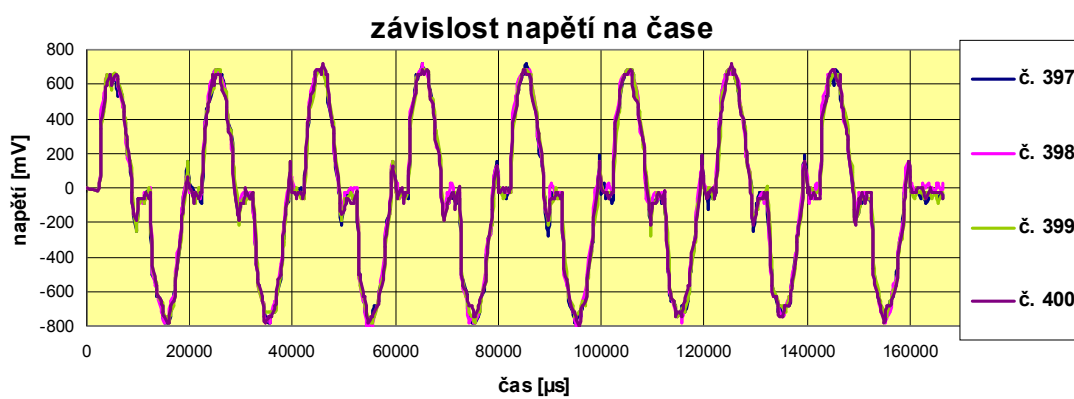
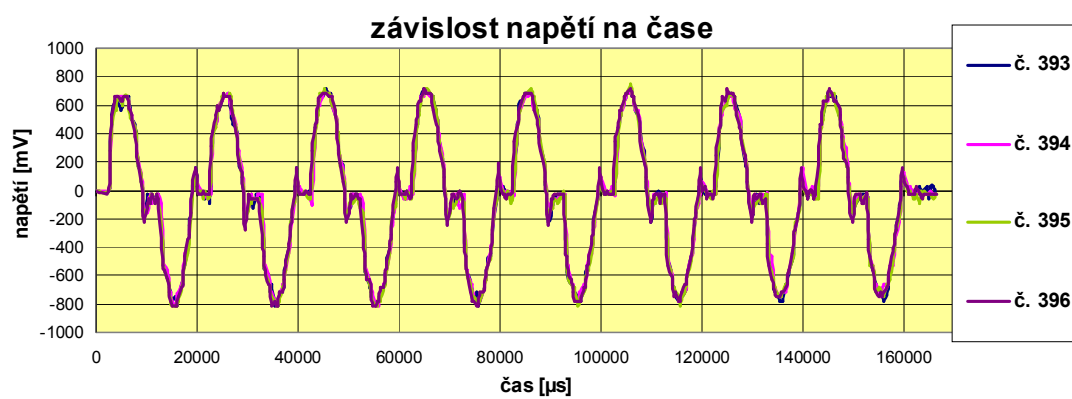
## Příloha 5



## Příloha 6

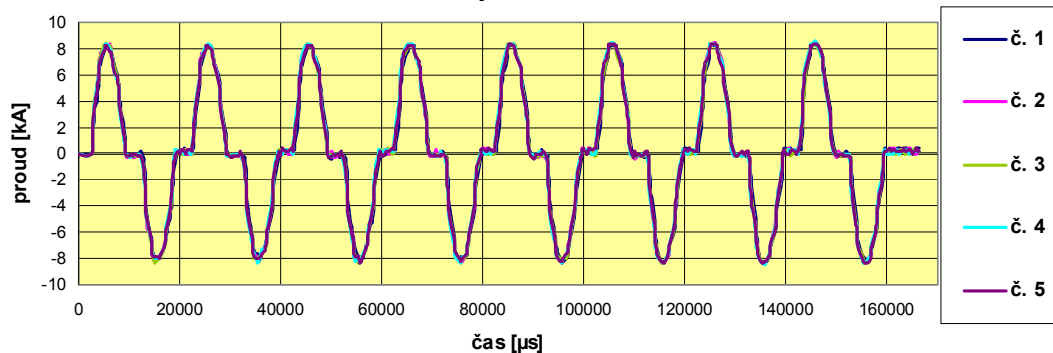


## Příloha 7

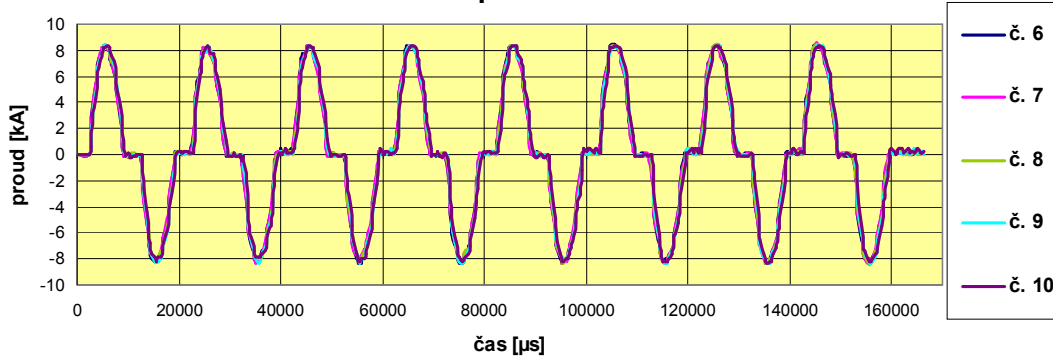


## Příloha 8

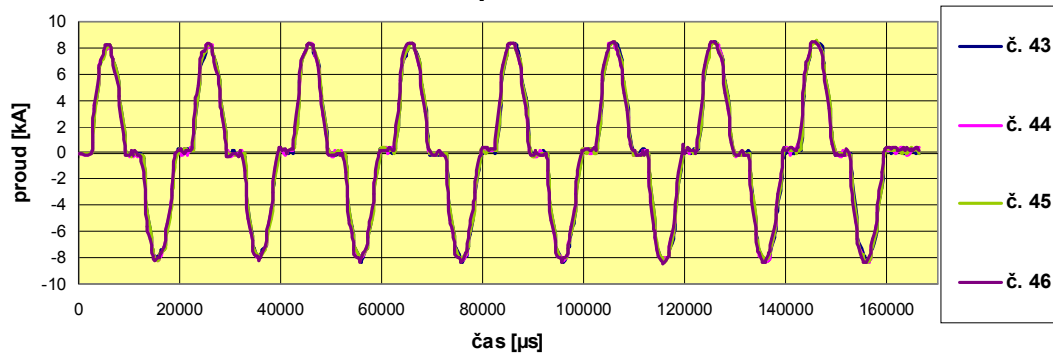
**závislost proudu na čase**



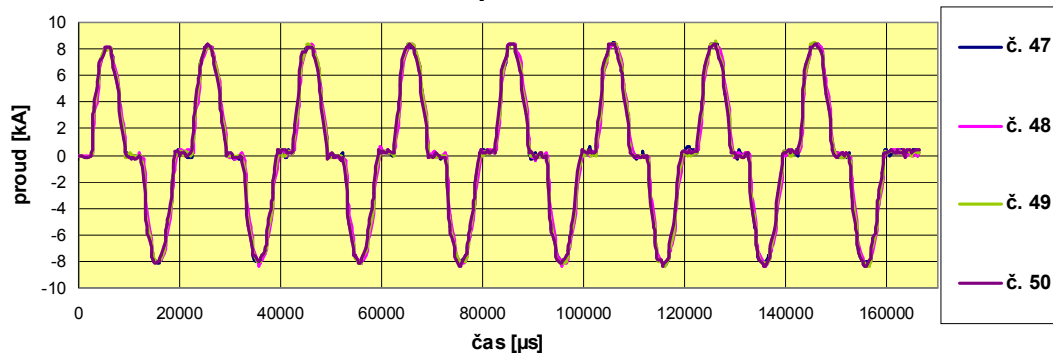
**závislost proudu na čase**



**závislost proudu na čase**



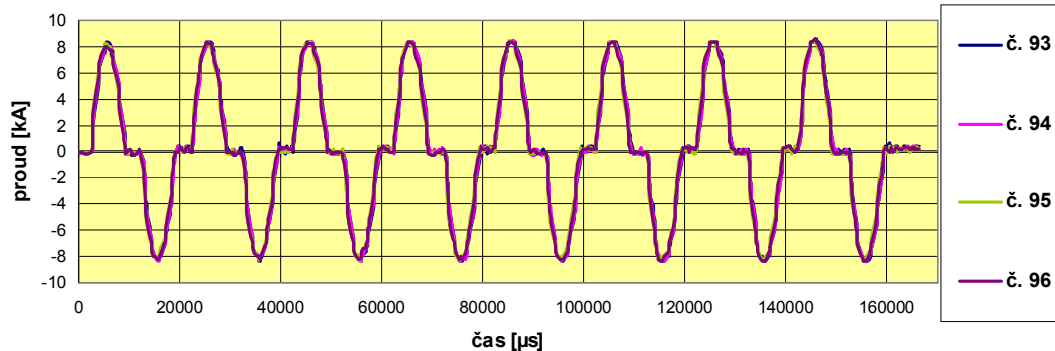
**závislost proudu na čase**



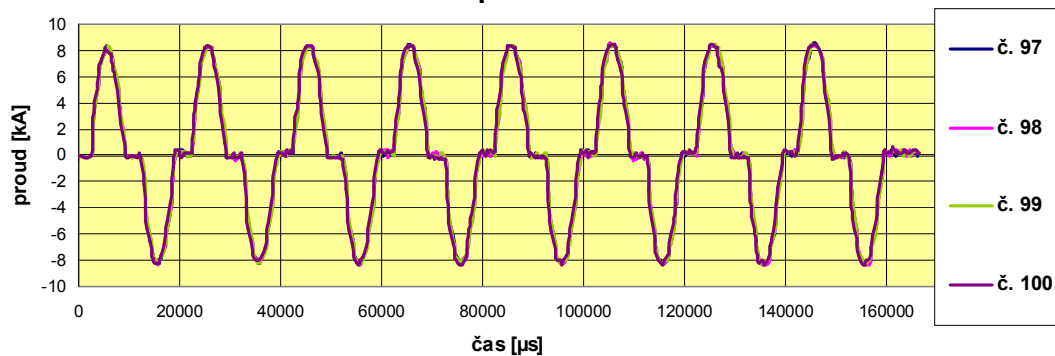


## Příloha 9

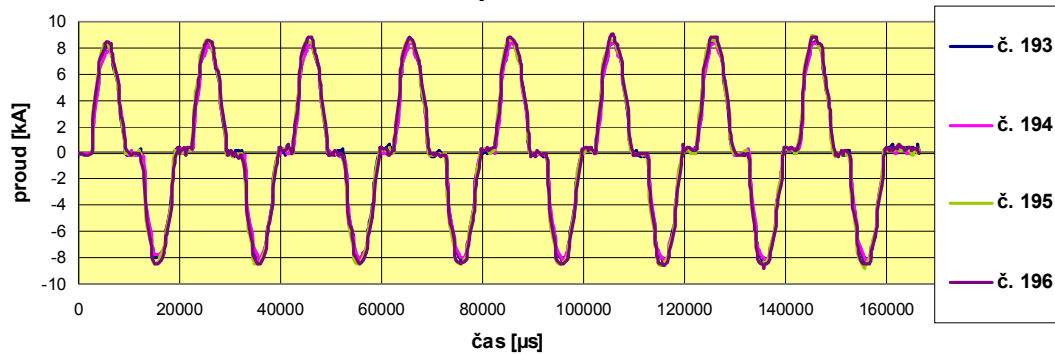
**závislost proudu na čase**



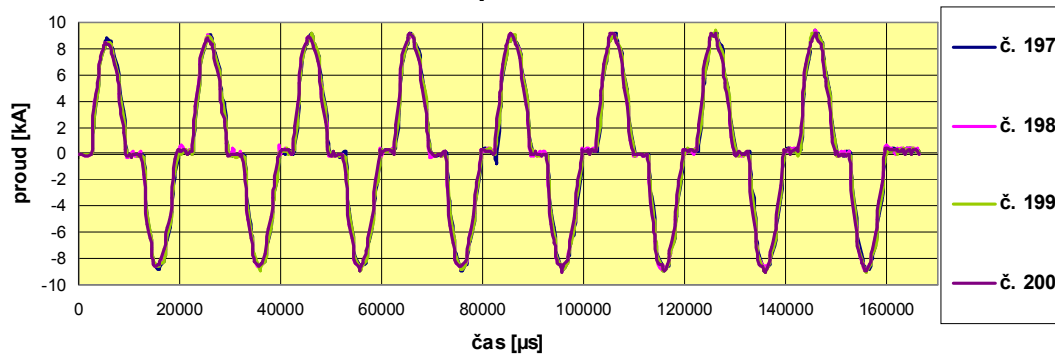
**závislost proudu na čase**

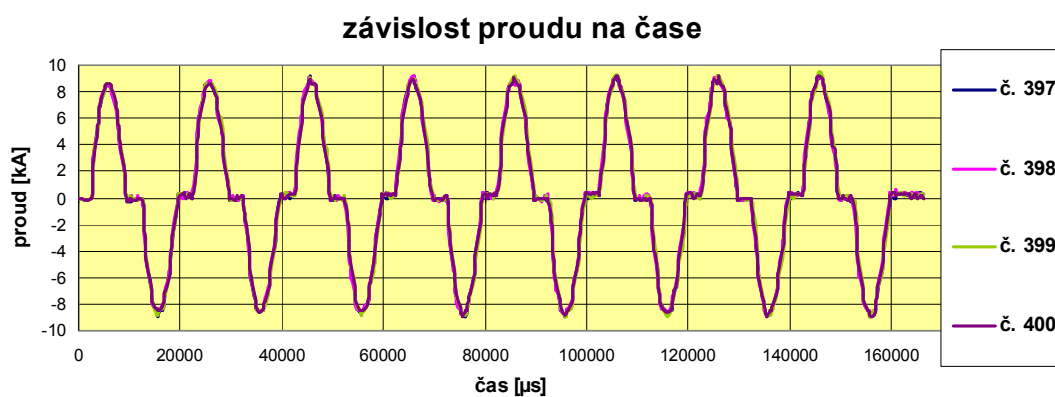
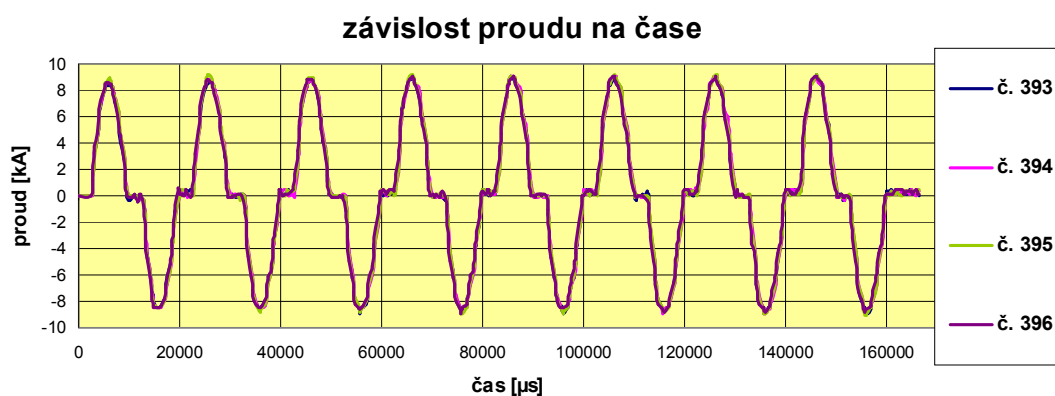


**závislost proudu na čase**



**závislost proudu na čase**

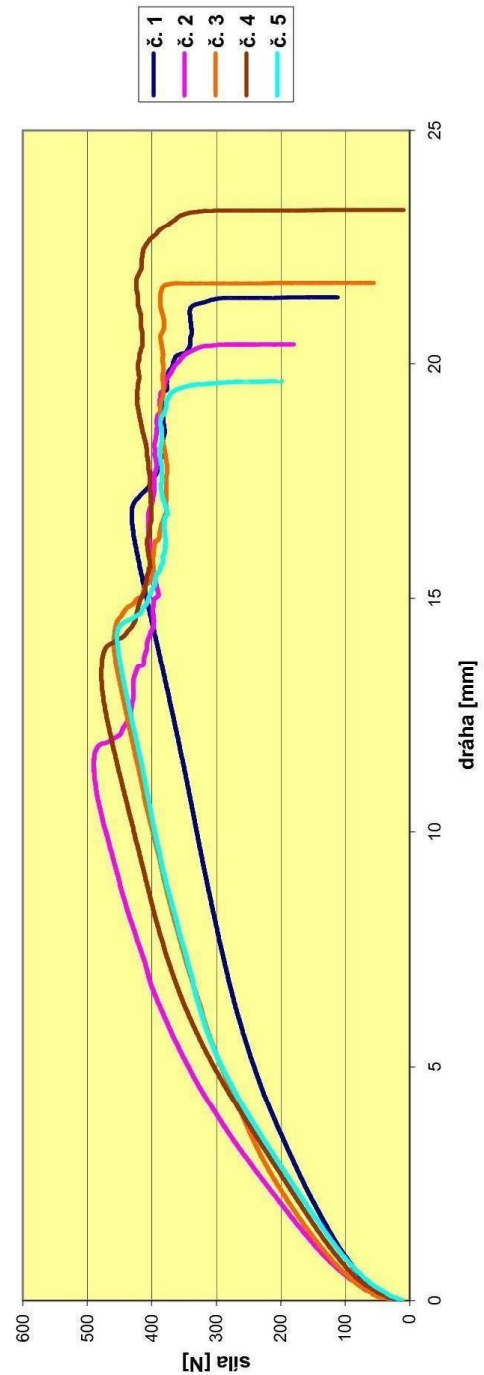




# **PROTOKOL MECHANICKÉ ODLUPOVACÍ ZKOUŠKY ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14270**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

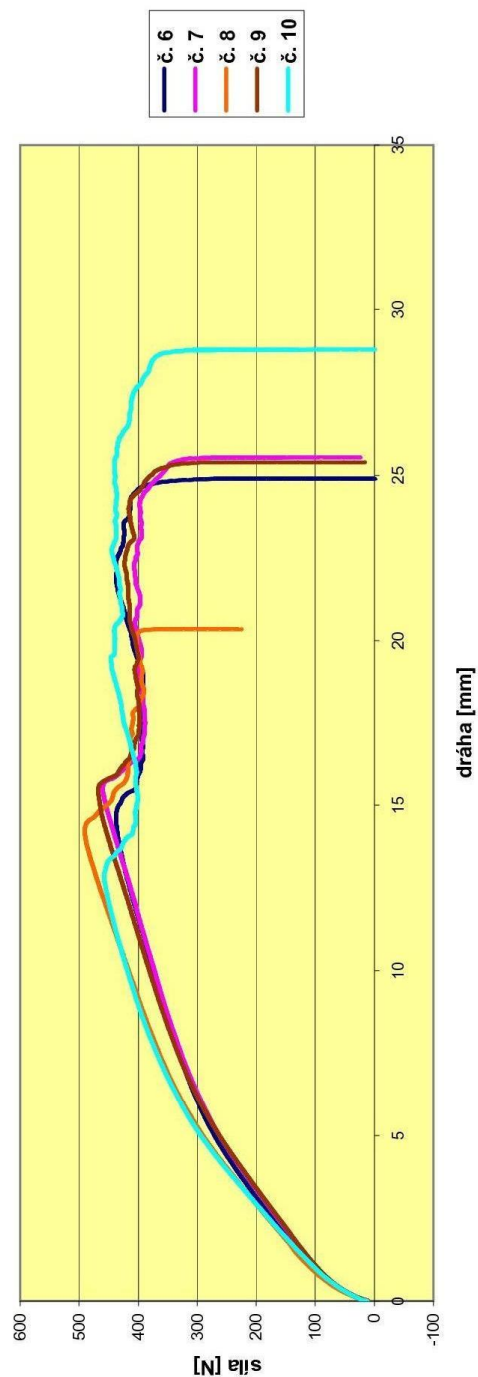
Číslo vzorku	1	2	3	4	5	
Datum	4.5.2011					
Zkoušející	Zdeněk Vrabec					
Metoda svařování	odporové bodové svařování					
Svařovací parametry	proud [kA]	8,29	8,40	8,39	8,47	8,35
	napětí [V]	0,76	0,74	0,74	0,75	0,75
	čas [T]	8	8	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl					
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 125 x 0,8					
Maximální zatěžovací síla [N]	431,02	490,03	458,94	478,43	453,88	
Typ porušení	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	2,325	2,375	2,375	2,675	2,275



# PROTOKOL MECHANICKÉ ODLUPOVACÍ ZKOUŠKY ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14270

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

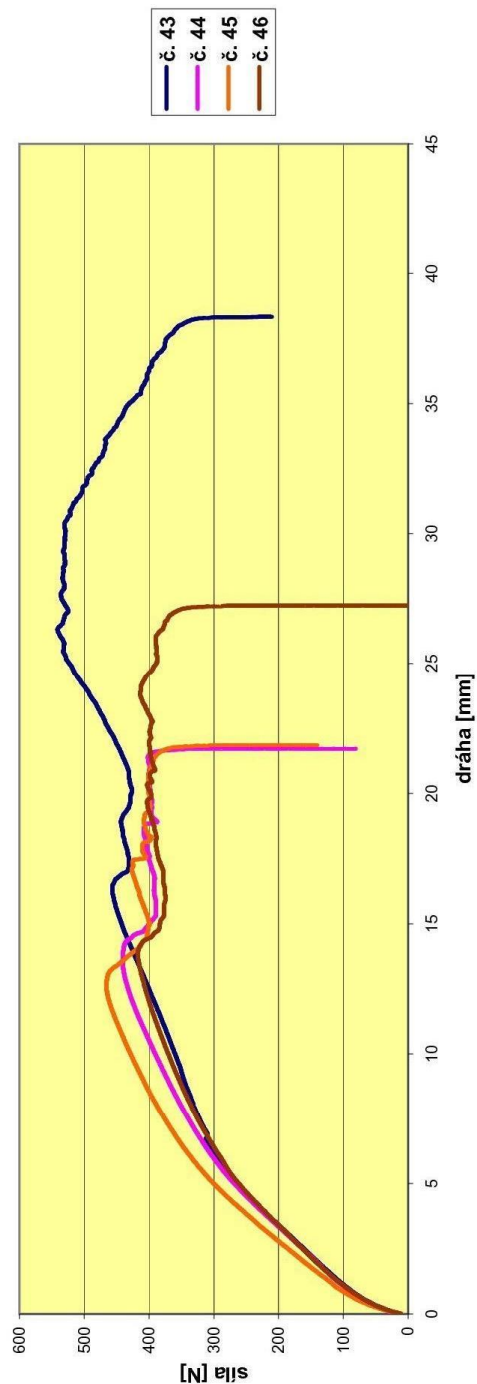
Číslo vzorku	6	7	8	9	10
Datum	4.5.2011				
Zkoušející	Zdeněk Vrabec				
Metoda svařování	odporové bodové svařování				
Svařovací parametry	proud [kA]	8,41	8,37	8,40	8,41
	napětí [V]	0,76	0,75	0,75	0,75
	čas [T]	8	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl				
Rozměry zkušební vzorku	45 x 125 x 0,8				
Maximální zatěžovací síla [N]	437,61	459,87	490,41	467,49	457,96
Typ porušení	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	2,575	2,700	2,625	2,625



# PROTOKOL MECHANICKÉ ODLUPOVACÍ ZKOUŠKY ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14270

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

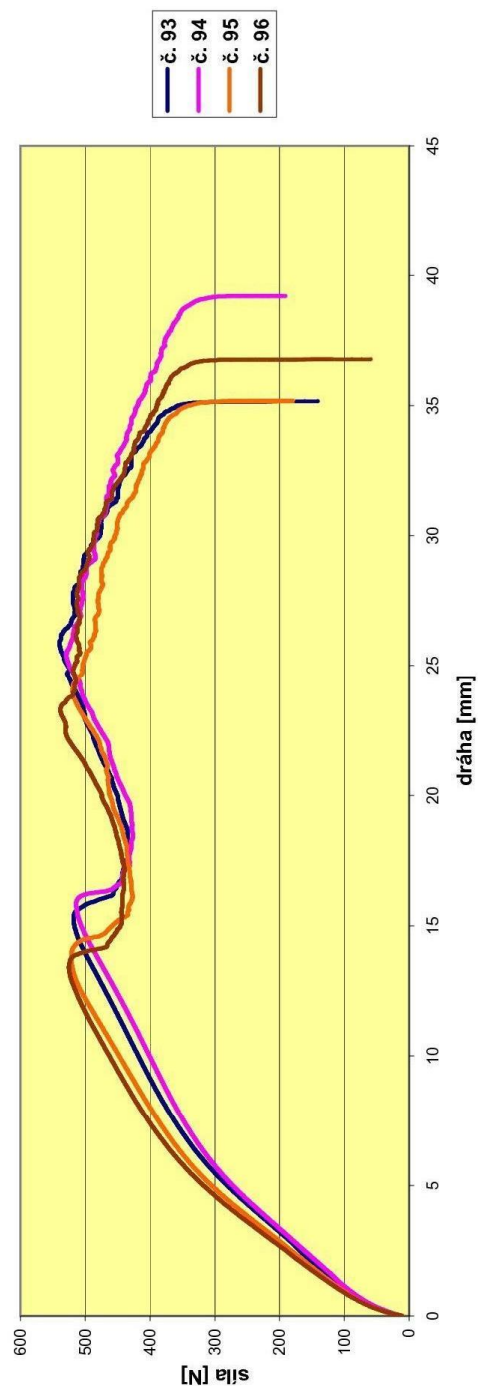
Číslo vzorku	43	44	45	46
Datum	4.5.2011			
Zkoušející	Zdeněk Vrabec			
Metoda svařování	odporové bodové svařování			
Svařovací parametry	proud [kA]	8,40	8,39	8,38
	napětí [V]	0,78	0,76	0,77
	čas [T]	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl			
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 125 x 0,8			
Maximální zatěžovací síla [N]	541,14	440,55	465,37	416,92
Typ porušení	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	3,150	2,650	2,675
				2,750



# **PROTOKOL MECHANICKÉ ODLUPOVACÍ ZKOUŠKY ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14270**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

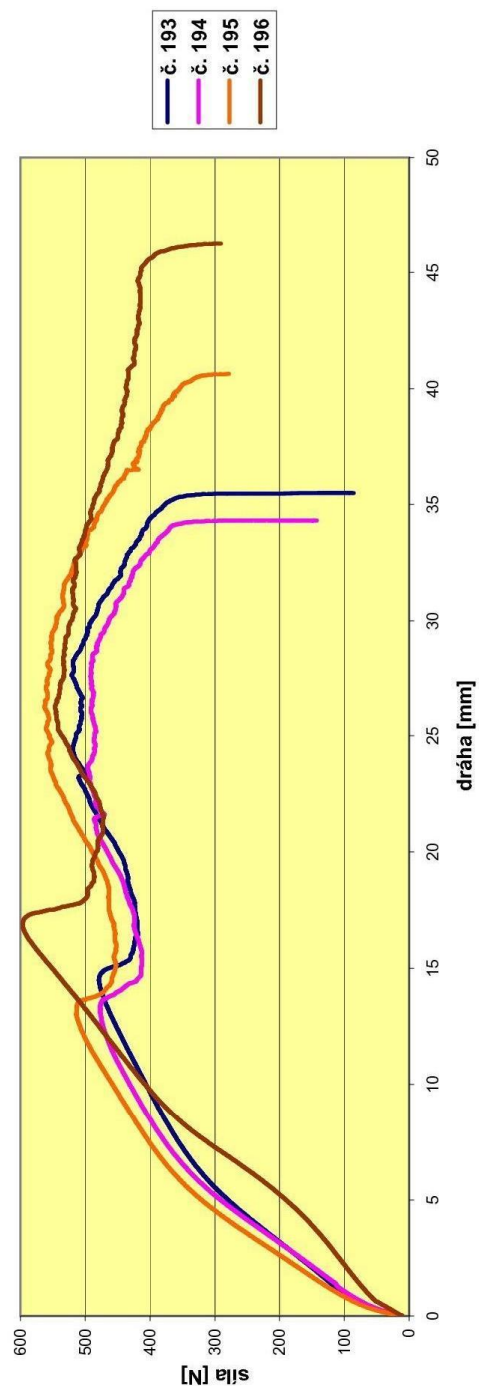
Číslo vzorku	93	94	95	96
Datum	4.5.2011			
Zkoušející	Zdeněk Vrabec			
Metoda svařování	odporové bodové svařování			
Svařovací parametry	proud [kA]	8,49	8,45	8,41
	napětí [V]	0,83	0,82	0,82
	čas [T]	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl			
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 125 x 0,8			
Maximální zatěžovací síla [N]	517,89	513,87	521,20	525,12
Typ porušení	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	4,025	3,925	3,925



# **PROTOKOL MECHANICKÉ ODLUPOVACÍ ZKOUŠKY ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14270**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Číslo vzorku	193	194	195	196
Datum	4.5.2011			
Zkoušející	Zdeněk Vrabec			
Metoda svařování	odporové bodové svařování			
Svařovací parametry	proud [kA]	8,37	8,24	8,84
	napětí [V]	0,81	0,81	0,83
	čas [T]	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl			
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 125 x 0,8			
Maximální zatěžovací síla [N]	478,74	476,67	513,58	596,42
Typ porušení	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	4,125	3,650	4,125
				4,575

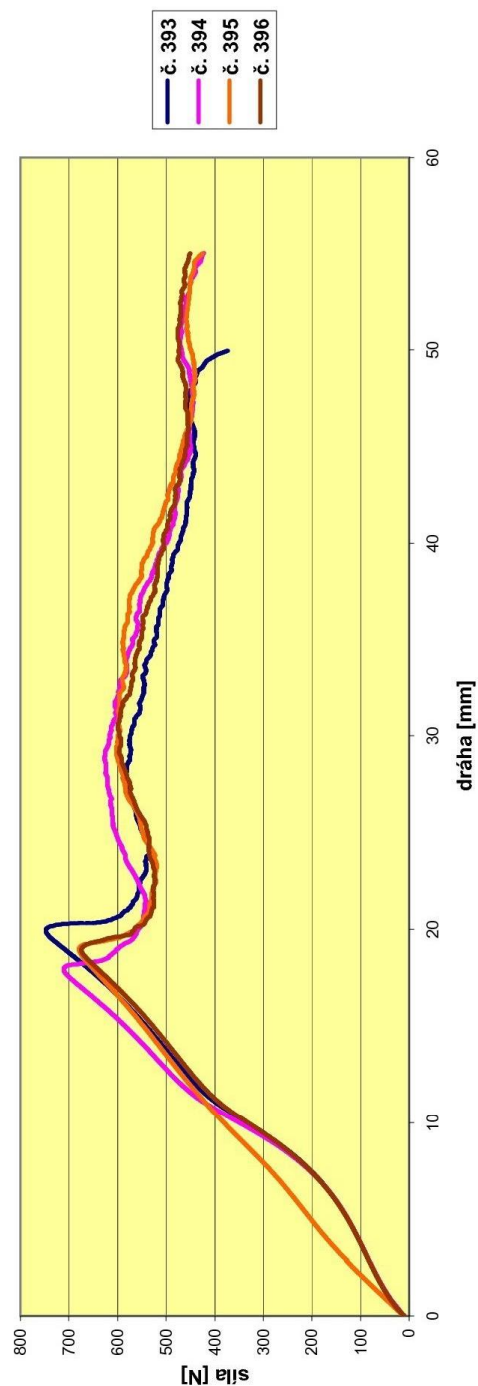




# **PROTOKOL MECHANICKÉ ODLUPOVACÍ ZKOUŠKY ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14270**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Číslo vzorku	393	394	395	396
Datum	4.5.2011			
Zkoušející	Zdeněk Vrabec			
Metoda svařování	odporové bodové svařování			
Svařovací parametry	proud [kA]	9,02	9,13	9,10
	napětí [V]	0,89	0,88	0,89
	čas [T]	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl			
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 125 x 0,8			
Maximální zatěžovací síla [N]	747,91	711,01	679,16	674,59
Typ porušení	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	5,000	4,975	5,125

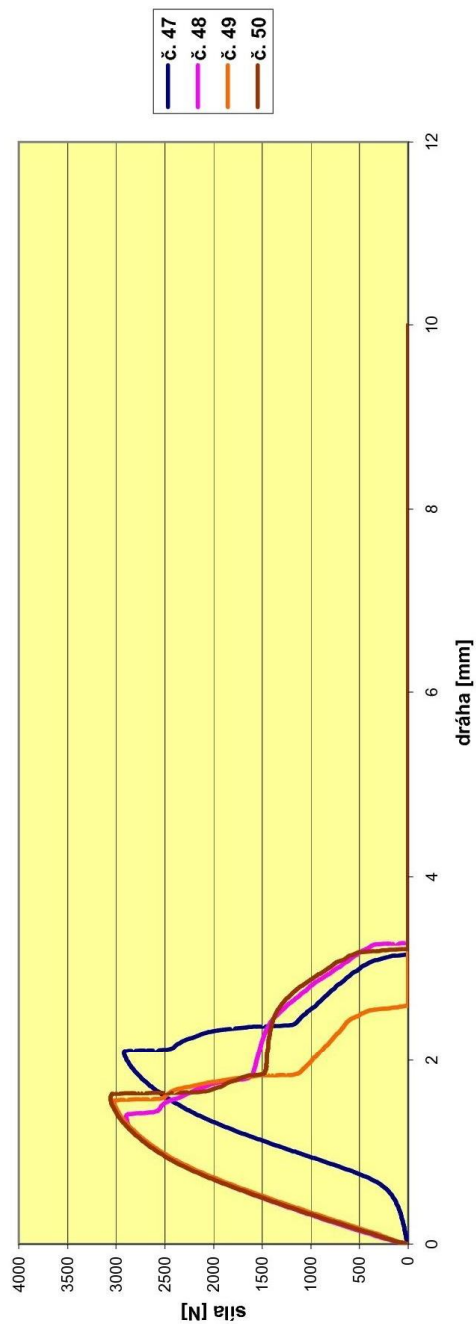




# **PROTOKOL ZKOUŠKY STŘÍHEM ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14273**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

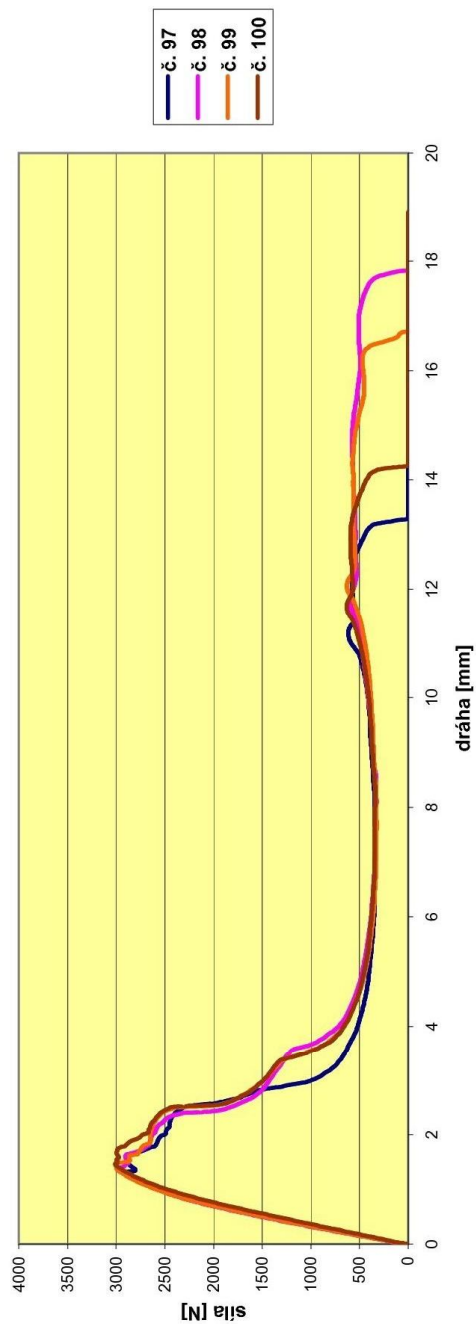
Číslo vzorku	47	48	49	50
Datum	4.5.2011			
Zkoušející	Zdeněk Vrabec			
Metoda svařování	odporové bodové svařování			
Svařovací parametry	proud [kA]	8,38	8,41	8,43
	napětí [V]	0,76	0,77	0,76
	čas [T]	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl			
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 175 x 0,8			
Maximální zatěžovací síla [N]	2920,35	2899,01	3021,44	3058,67
Typ porušení	smyknuto	smyknuto	smyknuto	smyknuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	2,675	2,275	2,375
				2,100



# **PROTOKOL ZKOUŠKY STŘÍHEM ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14273**

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

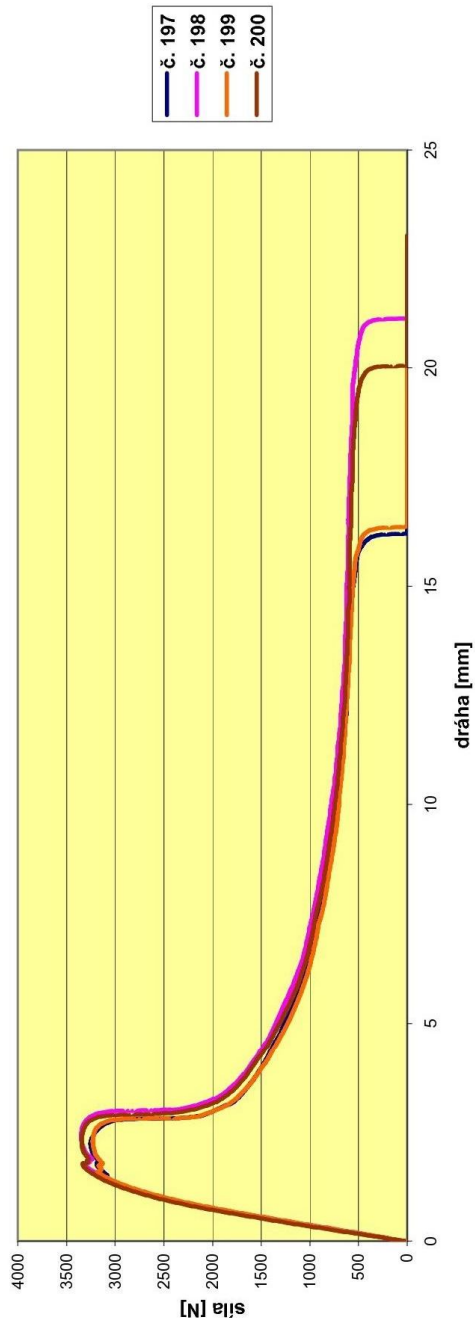
Číslo vzorku	97	98	99	100
Datum	4.5.2011			
Zkoušející	Zdeněk Vrabec			
Metoda svařování	odporové bodové svařování			
Svařovací parametry	proud [kA]	8,45	8,46	8,45
	napětí [V]	0,81	0,82	0,82
	čas [T]	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl			
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 175 x 0,8			
Maximální zatěžovací síla [N]	2936,79	2984,04	3008,70	3012,34
Typ porušení	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	3,300	3,400	3,325
				3,450



# PROTOKOL ZKOUŠKY STŘÍHEM ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14273

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

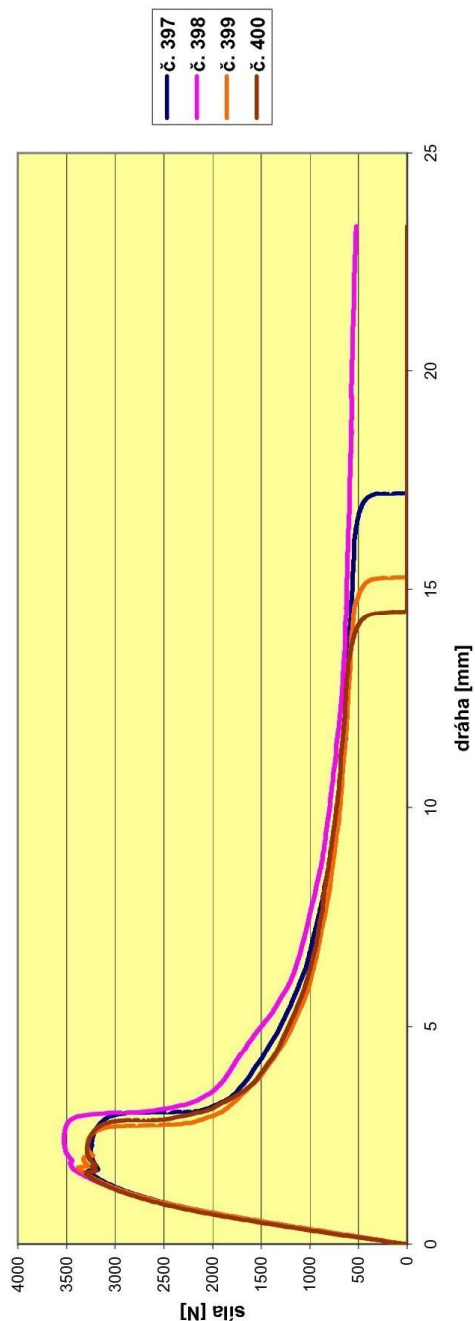
Číslo vzorku	197	198	199	200
Datum	4.5.2011			
Zkoušející	Zdeněk Vrabec			
Metoda svařování	odporové bodové svařování			
Svařovací parametry	proud [kA]	9,11	9,11	9,09
	napětí [V]	0,86	0,87	0,87
	čas [T]	8	8	8
Material	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl			
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 175 x 0,8			
Maximální zatěžovací síla [N]	3254,84	3350,86	3229,70	3344,50
Typ porušení	vyrtnuto	vyrtnuto	vyrtnuto	vyrtnuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	4,925	5,025	5,025
			5,025	5,100



# PROTOKOL ZKOUŠKY STŘÍHEM ODPOROVÝCH BODOVÝCH SVARŮ DLE ISO 14273

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Číslo vzorku	397	398	399	400
Datum	4.5.2011			
Zkoušející	Zdeněk Vrabec			
Metoda svařování	odporové bodové svařování			
Svařovací parametry	proud [kA]	9,07	9,07	8,97
	napětí [V]	0,87	0,88	0,87
	čas [T]	8	8	8
Materiál	ocelový plech s povlakem Zinek - Nikl			
Rozměry zkušebního vzorku	45 x 175 x 0,8			
Maximální zatěžovací síla [N]	3277,32	3526,85	3382,71	3302,42
Typ porušení	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto	vytrhnuto
Rozměry svaru	d <sub>s</sub> [mm]	5,175	5,450	5,200
				5,175



### **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, zejména §60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a s konzultantem.

Datum: 27.5 2011

Podpis:

### **Declaration**

I have been notified of the fact that Copyright Act No. 121/2000 Coll. Applies to my thesis in full, in particular Section 60, School Work

I am fully aware that the Technical University of Liberec is not interfering in my copyright by using my thesis for the internal purposes of TUL

If I use my thesis or grant a licence for its use, I am aware of fact that I must inform TUL of this fact; in this case TUL has the right to seek that I pay the expense invested in the creation of my thesis to the full amount.

I compiled the thesis on my own with the use of the acknowledged sources and on basic of consultation with the head of the thesis and a consultant.

Date: 27.5 2011

Signature: